INFORME ENSAYOS Y RESULTADOS DE LABORATORIOS

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. USPEC-CT-354-2023 CUYO OBJETO ES LA: "CONSULTORÍA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA QUE PERMITA DETERMINAR EL TIPO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL Y/O AMPLIACIÓN REQUERIDA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS DISEÑOS ARQUITECTONICOS PENITENCIARIOS Y CARCELARIOS DEL ORDEN NACIONAL A CARGO DEL INPEC".

CLIENTE: UNIDAD DE SERVICIOS PENITENCIARIOS Y CARCELARIOS-USPEC

ING.NELSON FERNANDO RODRIGUEZ VÁZQUEZ
DIRECTOR DE PROYECTO
M.P. 25202-142335 CND

VERSIÓN: VA

BOGOTÁ D.C.

MARZO 2025

CONTROL DE CAMBIOS – PY1006 – USPEC – INFORME EJECUTIVO					
Versión	**Realizada por**	**Revisada por**	**Aprobada por**	**Fecha**	**Cambios al documento anterior**
VA	YFSS		NFRV	MAR/2025	Emisión Inicial

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7
2. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE CADA ESTABLECIMIENTO 8
3. DESCRIPCIÓN Y RESULTADO DE ENSAYOS REALIZADOS 10
3.1. ESTABLECIMIENTO DE PUERTO BERRIO 10
3.1.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS 10
3.1.1.1. Ensayo de Esclerometría 10
3.1.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner 16
3.1.1.3. Ensayo Método de Dúo Polo Para Medición de Potenciales de Corrosión en Refuerzo. 21
3.1.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS 25
3.1.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto 25
3.1.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación 28
3.1.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo 30
3.1.3. CONCLUSIONES 33
3.2. ESTABLECIMIENTO DE TULUÁ 34
3.2.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS 35
3.2.1.1. Ensayo de Esclerometría 35
3.2.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner 38
3.2.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS 40
3.2.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto 40
3.2.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación 42
3.2.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo 44
3.2.3. CONCLUSIONES 44
3.3. ESTABLECIMIENTO DE SAN ANDRES 45
3.3.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS 46
3.3.1.1. Ensayo de Esclerometría 46
3.3.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner 49
3.3.1.3. Ensayo Directo Para Medición de Potenciales de Corrosión en Refuerzo con Electrodo de Referencia. 53
3.3.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS 58

3.3.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto 58
3.3.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación 62
3.3.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo 64
3.3.3. CONCLUSIONES 67
4. BIBLIOGRAFÍA 68

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Localización del EPMSC. Fuente: Adaptado de Google Mapa. 8
Imagen 2. Ubicación EPMSC de Tuluá – USPEC 8
Imagen 3. Ubicación Complejo Penitenciario de Pedregal – COPED – USPEC 9
Imagen 4. Ubicación EPMSC de Puerto Berrio – USPEC 9
Imagen 5. Localización ensayos de esclerometría. Fuente: Propia 11
Imagen 6. Registro fotográfico ensayo esclerometría. Fuente: Propia 12
Imagen 7. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Propia 17
Imagen 8. Localización ensayos detección con scanner. Fuente: propia 17
Imagen 9. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Propia 18
Imagen 10. Esquemas de aceros encontrados con ensayo de escáner 19
Imagen 11. Localización de ensayos potencial de corrosión. Fuente: Propia 21
Imagen 12. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Propia 22
Imagen 13. Ejemplo chauvenet para eliminación de datos atípicos. Fuente: Propia 24
Imagen 14. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia 26
Imagen 15. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia 27
Imagen 16. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Propia 29
Imagen 17. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo. Fuente: Propia 31
Imagen 18. Ensayo regatas para inspección directa de refuerzo. Fuente. Propia 32
Imagen 19. Registro fotográfico ensayo esclerometría. Fuente: Propia 37
Imagen 20. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Propia 39
Imagen 21. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia 41
Imagen 22. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia 42
Imagen 23. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Propia 43
Imagen 24. Localización ensayos de esclerometría Piso 1. Fuente: Elaboración propia 47
Imagen 25. Localización ensayos de esclerometría Piso 2. Fuente: Elaboración propia 47
Imagen 26. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia 49
Imagen 27. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Elaboración propia 50
Imagen 28. Localización ensayos detección con scanner piso 1. Fuente: propia 50
Imagen 29. Localización ensayos detección con scanner piso 2. Fuente: propia 51
Imagen 30. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia 52
Imagen 31. Conectividad entre electrodo de referencia y acero de refuerzo. Fuente: ASTM C876-22b 54
Imagen 32. Localización de ensayos potencial de corrosión Piso 1. Fuente: Elaboración propia 55

Imagen 33. Localización de ensayos potencial de corrosión Piso 2. Fuente: Elaboración propia 55
Imagen 34. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia 56
Imagen 35. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto piso 1. Fuente: Elaboración propia . 59
Imagen 36. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto piso 2. Fuente: Elaboración propia . 60
Imagen 37. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Elaboración propia..... 61
Imagen 38. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Elaboración propia 63
Imagen 39. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo Piso 1. Fuente: Elaboración propia 65
Imagen 40. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo Piso 2. Fuente: Elaboración propia 65
Imagen 41. Ensayo regatas para inspección directa de refuerzo. Fuente. Propia..... 66

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el Informe Final del Contrato USPEC-CTO-354-2023, cuyo objeto es la: "CONSULTORÍA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA QUE PERMITA DETERMINAR EL TIPO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL Y/O AMPLIACIÓN REQUERIDA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS Y CARCELARIOS DEL ORDEN NACIONAL A CARGO DEL INPEC".

En este informe se presentan los ensayos realizados para la caracterización de la estructura. El objetivo principal es comprobar que dichos materiales cumplen con las normas y requisitos de calidad necesarios para asegurar que la obra sea segura, resistente y duradera.

Los resultados obtenidos permiten identificar cómo se comportan los materiales frente a diferentes pruebas y si responden de manera adecuada a lo que exige el proyecto. De esta manera, se pueden detectar a tiempo posibles fallas y garantizar que la construcción se lleve a cabo con bases firmes y confiables.

Este documento organiza de forma clara los ensayos realizados, los resultados encontrados y las conclusiones que ayudan a entender el estado de los materiales y su importancia en la calidad final de la edificación.

2. LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE CADA ESTABLECIMIENTO

El EPMSC de San Andrés se encuentra ubicado en el kilómetro 13 de la avenida circunvalar de la isla de San Andrés, como se muestra en la Imagen 1.

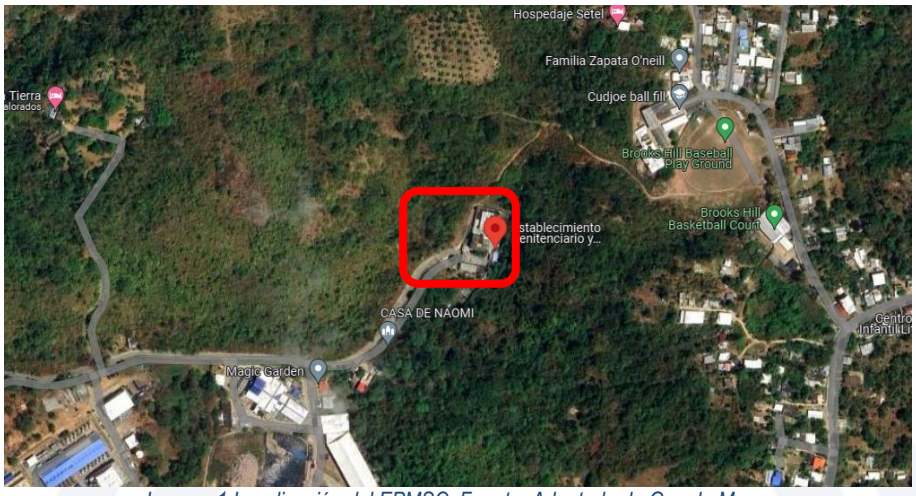


Imagen 1 Localización del EPMSC. Fuente: Adaptado de Google Mapa.

El EPMSC de Tuluá se encuentra ubicado entre los barrios San Antonio, Moralito y Popular del municipio de Tuluá, en la Carrera 29 No. 14-02 como se muestra en la Imagen 2

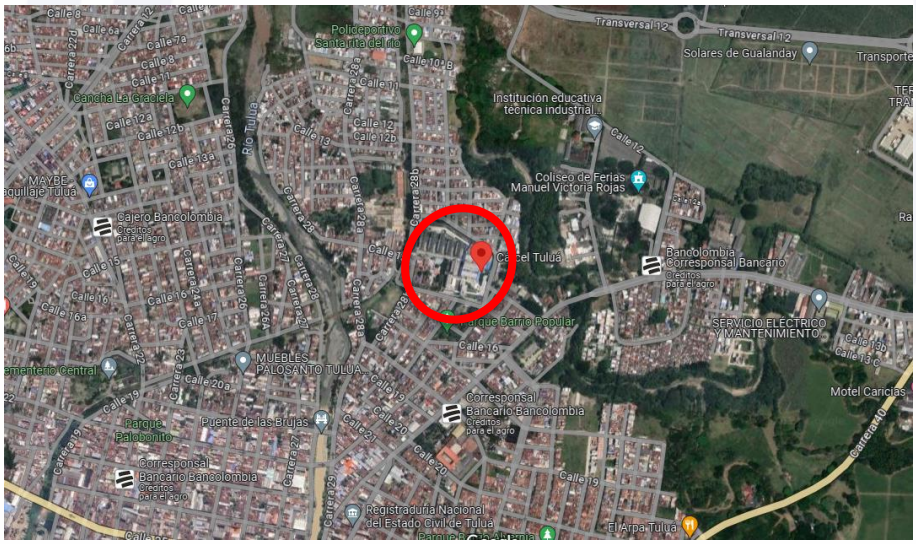


Imagen 2. Ubicación EPMSC de Tuluá – USPEC
Fuente: Google Maps

El COPED de Medellín se encuentra ubicado en el kilómetro 6 de la vía al mar, corregimiento San Cristóbal de la ciudad de Medellín, como se muestra en la Imagen 3

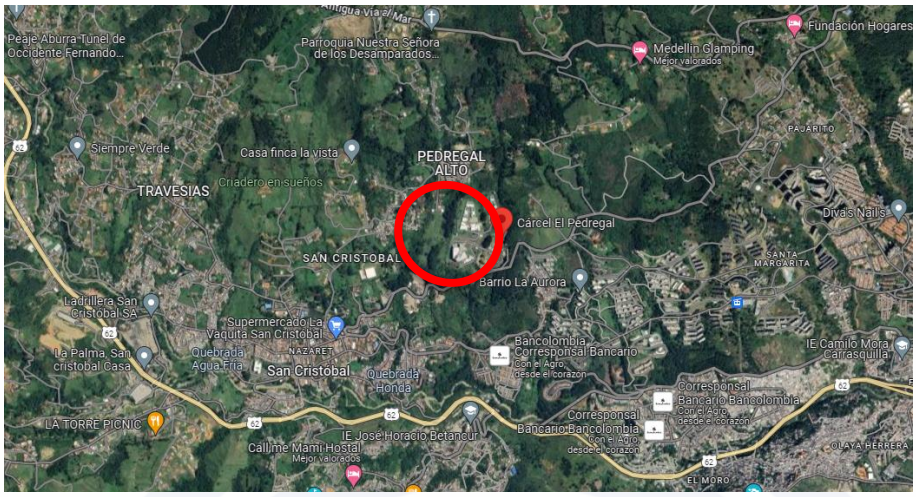


Imagen 3. Ubicación Complejo Penitenciario de Pedregal – COPED – USPEC
Fuente: Google Maps

El EPMSC de Puerto Berrio se encuentra ubicado en el barrio El Carmelo del municipio de Puerto Berrio, Antioquia, en la Calle 50 No. 10-03, como se muestra en la Imagen 4



Imagen 4. Ubicación EPMSC de Puerto Berrio – USPEC
Fuente: Google Maps

3. DESCRIPCIÓN Y RESULTADO DE ENSAYOS REALIZADOS

3.1. ESTABLECIMIENTO DE PUERTO BERRIO

Para la caracterización de los materiales, se realizaron distintos tipos de pruebas y ensayos destructivos y no destructivos aplicados a los elementos estructurales, las pruebas realizadas consistieron en: extracción de núcleos de concreto para ensayo a la compresión, módulo de elasticidad, densidad, potencial de corrosión, profundidad de carbonatación, regatas de inspección, escáner de acero de refuerzo, esclerometrías y detección de acero con escáner, como se muestra a continuación:

Tipo de Ensayo	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	Total
Extracción de núcleos	4	1	4	2	**11**
Ensayo de Carbonatación	3	0	3	2	**11**
Regatas	3	1	4	3	**11**
Potencial de Corrosión	4	1	4	4	**13**
Escáner de Acero	9	0	3	2	**14**
Esclerometría	9	2	8	3	**22**

Tabla 1 Tipo y cantidad de ensayos realizados. Fuente: Propia

3.1.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.1.1.1. Ensayo de Esclerometría

Determinar en forma indirecta y no destructiva, los rangos de resistencia probables de un concreto, para establecer correlaciones con los ensayos de ultrasonido y de núcleos, que permitan calificar la calidad y homogeneidad de este. El ensayo se realiza siguiendo las especificaciones de la norma NTC 3692.

Para la ejecución del ensayo se tomaron 16 valores de rebote, con los cuales se determinará el promedio de los valores obtenidos descartando los 3 valores máximos y 3 mínimos. Dichos valores son adimensionales. El índice de rebote determinado se empleó para la comprobación de la uniformidad del concreto “insitu”, para delimitar zonas o áreas de pobre calidad o concreto deteriorado en estructuras (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012).

El esclerómetro puede ser empleado para realizar comparaciones, tomando como referencia un concreto de resistencia conocida o un concreto perteneciente a una misma fundida (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012). Se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la resistencia del concreto.

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 3692:2018 – Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.

- Norma española UNE-EN 12504-2:2013 – Ensayo de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 12504-2:2012.
- ASTM C805/C805M – 13° Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.
- Norma española UNE-EN 13791:2009 – Evaluación de la resistencia a compresión in situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 13791:2007.
- Norma técnica China JGJ/T23-2001 – Technical Specification for Inspection of Concrete Compressive Strength by Rebound Method

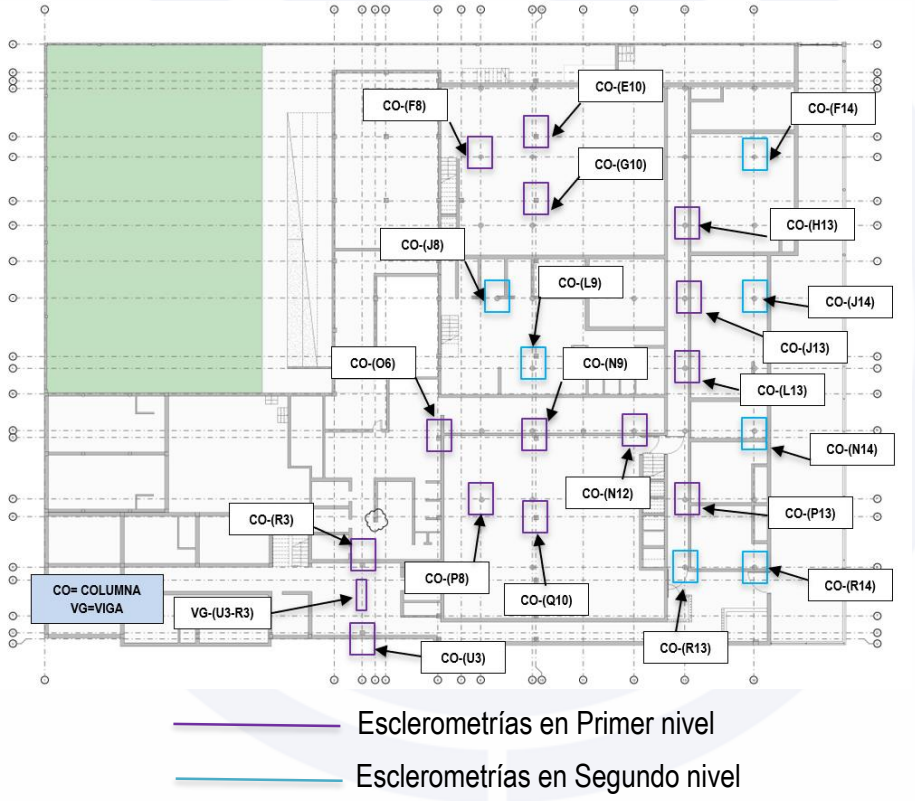


Imagen 5. Localización ensayos de esclerometría. Fuente: Propia

Se realiza un total de 22 ensayos, repartidos por zona y por nivel, también se realizan ensayos para los elementos que sirven de reforzamiento de la zona 3 y zona 4.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel	Elemento	Ejes de ubicación	Nivel

Columna	R3	1	Columna	N12	1
Columna	U3	1	Columna	L13	1
Viga	R3-U3	1	Columna	J13	1
Columna	P8	1	Columna	H13	1
Columna	O6	1	Columna	J8	2
Columna	F8	1	Columna	L9	2
Columna	Q10	1	Columna	R13	2
Columna	N9	1	Columna	R14	2
Columna	G10	1	Columna	N14	2
Columna	E10	1	Columna	J14	2
Columna	P13	1	Columna	F14	2

Tabla 2 Localización ensayos de esclerometría. Fuente: Propia



Imagen 6. Registro fotográfico ensayo esclerometría. Fuente: Propia

Resultados Ensayo de Esclerometría

En los valores que se presentan en a continuación en la Tabla 6, se sombrearon aquellos valores mínimos y máximos descartados, siguiendo el procedimiento definido en la NTC3692. Y se realizó el

procesamiento de los datos para obtener una resistencia a la compresión estimada para el concreto que compone los elementos ensayados y también identificar principalmente la homogeneidad del concreto en las diferentes zonas.

	PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)			
MUESTRA	L1	L2	L3	L4
1	53	44	38	39
2	49	43	38	36
3	47	42	36	35
4	46	40	35	34
5	44	40	34	34
6	44	40	34	34
7	44	39	34	34
8	42	39	34	33
9	42	38	33	32
10	41	38	32	30
11	41	38	31	30
12	40	37	30	30
13	40	36	30	30
14	40	34	29	30
15	39	33	29	28
16	36	25	28	25
PROMEDIO [-]	42.4	38.5	32.7	32.1
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	1.91	1.28	1.73	1.81
Wm [MPa]	46.77	39.44	29.25	28.25
ERROR +/- [Δ]	7.80	7.10	6.00	5.87
f'c (MPa) max	54.57	46.54	35.25	34.12
f'c (MPa) min	38.97	32.33	23.25	22.38

Tabla 3 4 Resultados ensayos esclerometría Zona 1 Primer Nivel

	PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)				
MUESTRA	L1	L2	L3	L4	L5
1	44	46	40	48	42
2	41	46	39	45	41
3	40	45	39	44	40
4	38	44	38	42	40
5	37	44	38	40	40
6	36	43	36	40	39
7	35	43	35	40	38
8	35	42	35	39	38
9	35	41	34	39	37
10	34	41	33	38	35
11	33	41	32	36	35
12	33	40	32	35	34
13	32	38	31	33	32
14	30	26	30	33	31
15	29	25	30	33	30
16	28	22	28	30	30
PROMEDIO [-]	34.8	41.7	34.4	38.2	36.8
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	1.78	1.79	2.33	2.60	2.56
Wm [MPa]	32.84	45.43	32.15	38.89	36.36
ERROR +/- [Δ]	6.48	7.64	6.37	7.10	6.81
f'c (MPa) max	39.32	53.06	38.52	46.00	43.17
f'c (MPa) min	26.36	37.79	25.78	31.79	29.56

Tabla 5 Resultados ensayos esclerometría Zona 1 Segundo Nivel

	PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)	
MUESTRA	L1	L2
1	49	43
2	44	41
3	44	38
4	43	38
5	42	34
6	40	33
7	39	31
8	38	31
9	36	30
10	36	30
11	34	30
12	34	28
13	33	28
14	30	28
15	30	27
16	28	25
PROMEDIO [-]	37.5	31.3
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	3.29	2.87
Wm [MPa]	37.62	26.92
ERROR +/- [Δ]	7.01	5.74
f'c (MPa) max	44.63	32.66
f'c (MPa) min	30.61	21.19

Tabla 6 Resultados ensayos esclerometría Zona 2

PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)		
MUESTRA	L1	L2
1	43	44
2	40	40
3	39	40
4	39	39
5	39	39
6	38	38
7	38	38
8	38	37
9	37	34
10	37	34
11	36	33
12	34	33
13	33	30
14	31	29
15	30	28
16	30	28
PROMEDIO [-]	36.9	35.5
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	1.92	2.94
Wm [MPa]	36.54	34.06
ERROR +/- [Δ]	6.91	6.59
f'c (MPa) max	43.45	40.66
f'c (MPa) min	29.63	27.47

Tabla 7 Resultados ensayos esclerometría Zona 3 Primer Nivel

PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)		
MUESTRA	L1	L2
1	34	37
2	33	34
3	33	34
4	32	34
5	31	34
6	31	33
7	30	32
8	30	32
9	30	32
10	29	31
11	29	30
12	28	30
13	28	29
14	27	29
15	27	29
16	26	27
PROMEDIO [-]	29.8	31.7
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	1.25	1.62
Wm [MPa]	24.48	27.58
ERROR +/- [Δ]	5.30	5.87
f'c (MPa) max	29.78	33.45
f'c (MPa) min	19.19	21.71

Tabla 8 Resultados ensayos esclerometría Zona 3 Segundo Nivel

	PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692		
MUESTRA	L1	L2	L3
1	48	40	47
2	44	39	44
3	41	38	43
4	41	38	41
5	40	37	41
6	40	37	40
7	39	36	40
8	39	35	39
9	39	35	39
10	39	34	39
11	39	34	36
12	39	34	34
13	38	34	34
14	37	34	32
15	35	33	30
16	32	29	30
PROMEDIO [-]	39.3	35.4	38.3
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	0.78	1.43	2.53
Wm [MPa]	40.91	33.89	39.07
ERROR +/- [Δ]	7.29	6.59	7.10
f'c (MPa) max	48.20	40.48	46.18
f'c (MPa) min	33.62	27.29	31.97

Tabla 9 Resultados ensayos esclerometría elementos de reforzamiento Zona 3

	PROCESAMIENTO DE DATOS (NTC 3692)		
MUESTRA	L1	L2	L3
1	45	44	42
2	44	42	40
3	42	40	40
4	40	40	39
5	40	40	39
6	39	39	39
7	39	39	38
8	39	39	38
9	39	39	37
10	38	38	37
11	38	38	36
12	37	37	36
13	37	37	35
14	37	35	35
15	34	35	34
16	34	34	32
PROMEDIO [-]	38.6	38.6	37.4
DESVIACIÓN ESTANDAR [σ]	1.02	1.02	1.36
Wm [MPa]	39.62	39.62	42.73
ERROR +/- [Δ]	7.20	7.20	7.62
f'c (MPa) max	46.82	46.82	50.35
f'c (MPa) min	32.42	32.42	35.12

Tabla 10 Resultados ensayos estructura de reforzamiento Zona 4

Aclarando que el ensayo de esclerometría es un **ensayo de medición indirecta**, que permite caracterizar la dureza superficial del concreto, se evidencia que la dispersión de datos de número de rebotes es alta, con los resultados obtenidos se puede decir que los concretos tienen una dureza media a alta y que los concretos de los elementos de reforzamiento tienen una resistencia aparente mayor que la estructura original más antigua.

Los resultados muestran que el concreto utilizado para reforzar tanto la zona 3 como la zona 4 exhibe homogeneidad en sus propiedades. Además, se observa consistencia entre los concretos más antiguos de las zonas 1, 2 y 3. Estos hallazgos sugieren una uniformidad en la calidad del concreto empleado en diferentes áreas del proyecto

De acuerdo a la normativa vigente, este ensayo **NO** es una alternativa a la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Para este estudio se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la homogeneidad del concreto.

3.1.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner

Este es un ensayo no destructivo que permite conocer la ubicación y la verificación de la existencia de acero de refuerzo, logrando detectar el diámetro y la profundidad a la que se encuentra. Sus resultados aportan información sobre los materiales y estructuras existentes. Para la realización del ensayo se empleó el equipo ZBL-R800 con el cual se pudo determinar separaciones y profundidades del acero de refuerzo en columnas. Este escáner emite una señal electromagnética sobre la superficie del elemento y recibe la señal de retorno inducida por el medio ferromagnético (acero de refuerzo) como respuesta a la excitación del emisor.

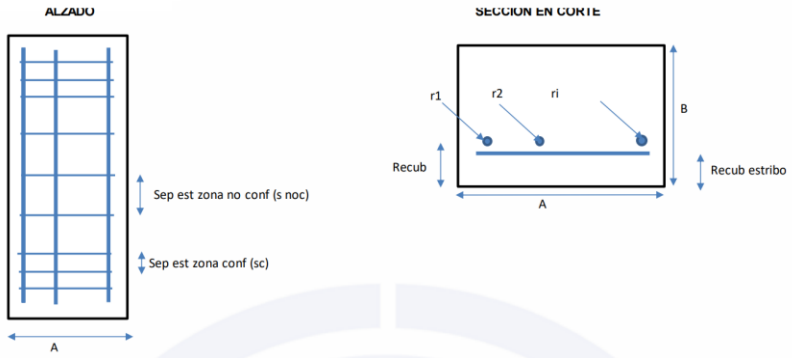


Imagen 7. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Propia

Normativa aplicable al ensayo:

- A la fecha no se han definido procedimientos mediante Normas Técnicas Colombianas aplicables a este ensayo.

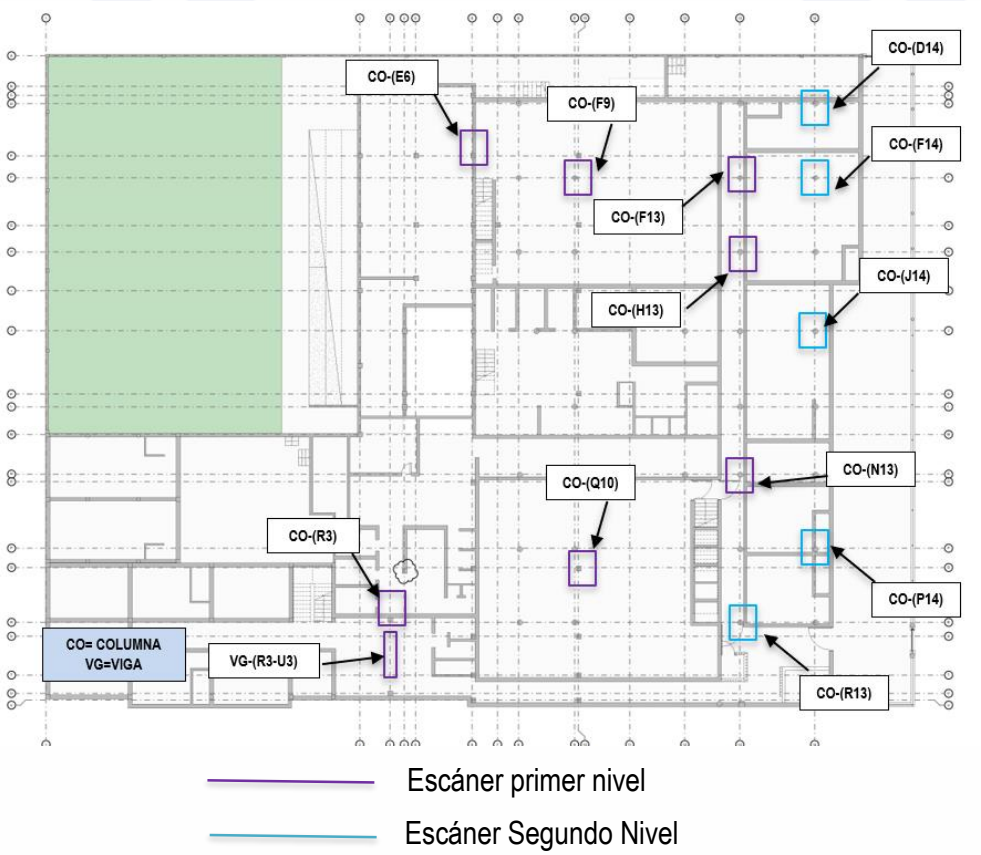


Imagen 8. Localización ensayos detección con scanner. Fuente: propia

Se realiza un total de 13 ensayos de detección de refuerzo con escáner los cuales se realizan en las zonas 1,2,3 y 4 tanto en la estructura con más antigüedad como en los elementos de reforzamiento de la zona 3.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel	Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Viga	R3-U3	1	Columna	D14	2
Columna	R3	1	Columna	F14	2
Columna	Q10	1	Columna	J14	2
Columna	E6	1	Columna	P14	2
Columna	F9	1	Columna	R13	2
Columna	F13	1			
Columna	H13	1			
Columna	N13	1			

Tabla 11 Localización ensayos de detección con scanner. Fuente: Propia



Imagen 9. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Propia

Resultado de Ensayos de Detección de Refuerzo con Escáner

Se realizó el ensayo a las columnas de la estructura con más antigüedad correspondiente a las columnas redondas con diámetro de 35cm encontrando que estas cuentan con 8 barras longitudinales #3 y estribos separados cada 0.20m no se identificó zonas de confinamiento en los elementos. Por otro lado, se realizó el ensayo a las columnas que actualmente sirven como reforzamiento de la zona 3, identificando que las columnas cuentan con un refuerzo de 8 barras #4 longitudinalmente y estribos separados cada 0.10m en la zona de confinamiento y cada 0.15 en la zona sin confinamiento, de la misma forma se caracteriza que las vigas de reforzamiento cuentan con 3 barras #4 arriba y abajo con

estribos separados 0.15m. hay que tener en cuenta que estos resultados son producto de un ensayo indirecto por lo tanto se pueden tener variaciones a la hora de realizar las regatas e inspeccionar directamente el refuerzo como se muestra en numerales más delante de este informe.

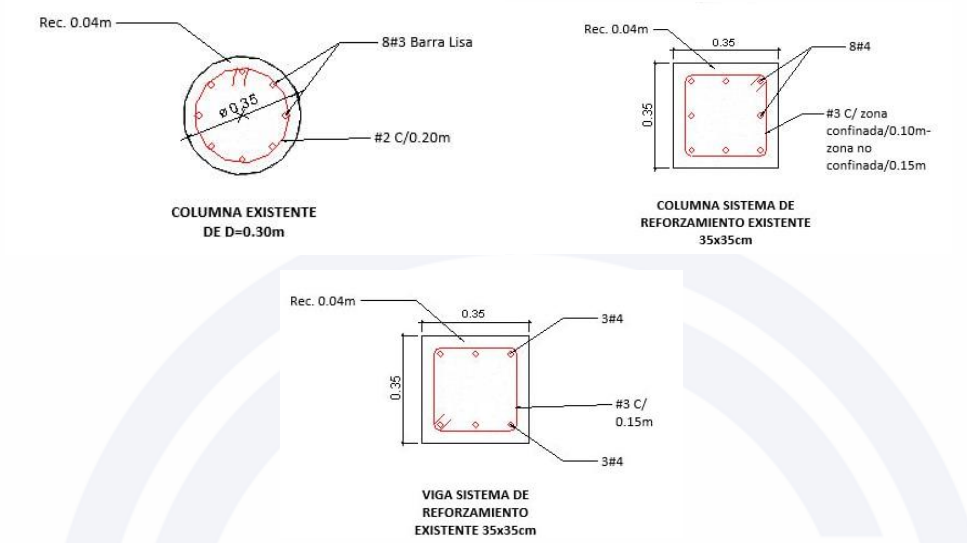


Imagen 10. Esquemas de aceros encontrados con ensayo de escáner.

A continuación, se presenta un extracto de la distribución de refuerzo que se obtuvo de las inspecciones realizadas en la edificación.

Nombre elemento	CO-(R13) Nivel 2 Zona 1	CO-(P14) Nivel 2 Zona 1	CO-(J14) Nivel 2 Zona 1	CO-(F14) Nivel 2 Zona 1	CO-(D14) Nivel 2 Zona 1	CO-(P13) Nivel 2 Zona 1	CO-(N13) Nivel 1 Zona 1	CO-(H13) Nivel 1 Zona 1	CO-(F13) Nivel 1 Zona 1
Ubicación ejes	R-13	P-14	J-14	F-14	D-14	P-13	N-13	H-13	F-13
Cara escaneada	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda
A	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m	D=0.35m
B									
S noc (m)	0.20	0.19	0.18	0.17	0.18	0.19	0.19	0.18	0.17
Sc (m)	0.22	0.21	0.20	0.19	0.21	0.22	0.21	0.20	0.19
diam estrib	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
recub estrib	3.6cm	3.4cm	3.2cm	3.4cm	3.3cm	3.5cm	3.5cm	3.4cm	3.3cm
Cant ref long	8	8	8	8	8	8	8	8	8
diam r1	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r2	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r4	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r5	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r6	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r7	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r8	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3	#3
diam r9									
diam r10									
recub ref long	3.6cm	3.4cm	3.2cm	3.4cm	3.3cm	3.5cm	3.5cm	3.4cm	3.3cm
OBSERVACIONES									

Tabla 12 Extracto de distribución de refuerzo obtenido mediante detección de refuerzo con escáner. Fuente: Propia

Los resultados obtenidos en campo para el ensayo se presentan en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

3.1.1.3. Ensayo Método de Dúo Polo Para Medición de Potenciales de Corrosión en Refuerzo.

El método de Dúo Polo para la medición de potenciales de corrosión en refuerzo es una técnica utilizada en ingeniería civil y en la industria de la construcción para evaluar el estado de corrosión de las armaduras de acero embebidas en estructuras de concreto. Este método implica el uso de dos electrodos, uno de referencia y otro de trabajo, para medir el potencial de corrosión del refuerzo. Al comparar los potenciales entre el electrodo de referencia y el refuerzo, se puede determinar el nivel de corrosión y tomar medidas preventivas o correctivas según sea necesario. Es una herramienta importante para garantizar la durabilidad y la integridad de las estructuras de concreto armado a lo largo del tiempo.

Normativa aplicable al ensayo:

- ASTM C876-15 - Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- Norma Española UNE 112083 de diciembre de 2010: Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado.
- No existen Normas Técnicas Colombianas referentes a este ensayo

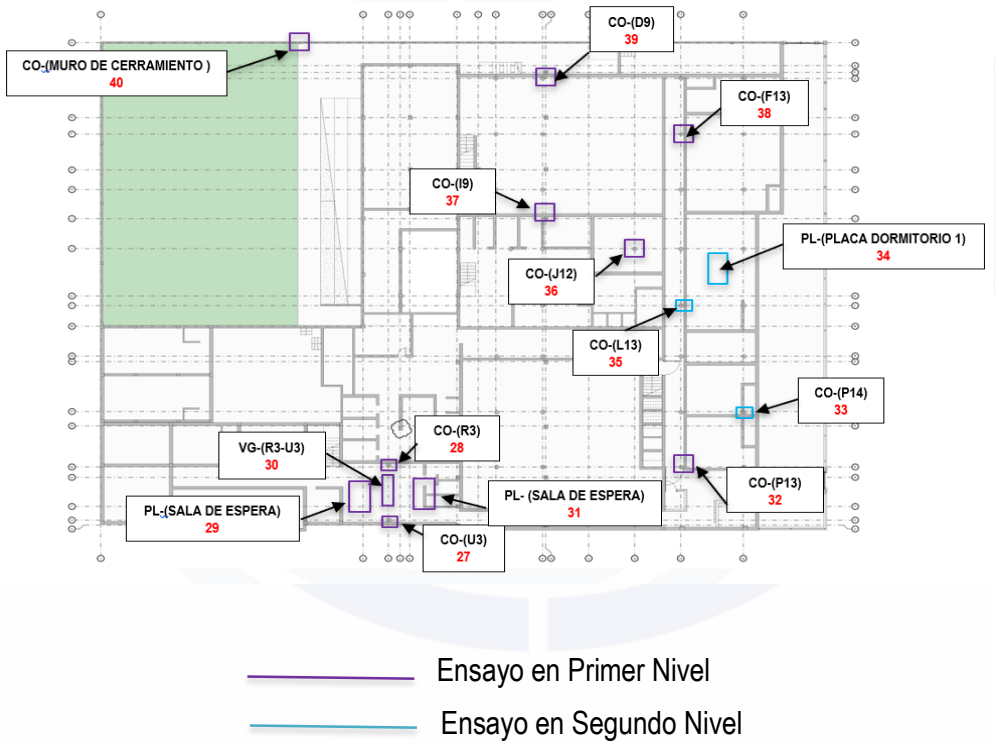


Imagen 11. Localización de ensayos potencial de corrosión. Fuente: Propia

Se realiza un total de 14 ensayos de potencial de corrosión en las zonas 1,2,3 y 4 tanto en la estructura con más antigüedad como en los elementos de reforzamiento de la zona 3.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel	# Ensayo
Columna	U3	1	27
Columna	R3	1	28
Placa	Sala de espera	1	29
Viga	R3-U3	1	30
Placa	Sala de espera	1	31
Columna	P13	1	32
Columna	P14	2	33
Placa	Dormitorio 1	2	34
Columna	L13	2	35
Columna	J12	1	36
Columna	I9	1	37
Columna	F13	1	38
Columna	D9	1	39
Columna	Muro de cerramiento	1	40

Tabla 13 Localización de ensayos potencial de corrosión. Fuente: Propia



Imagen 12. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Propia

Resultados Ensayo

Para el análisis de resultados de potencial de corrosión, se tuvo en cuenta la norma ASTM C876-15, en el cual se clasifican los alores obtenidos de potencial en mV de acuerdo con la probabilidad de inicio de corrosión según

Voltaje (mv)	Probabilidad de corrosión
<200	10% de probabilidad de inicio de corrosión
200-350	Incertidumbre
>350	90% de probabilidad inicio de corrosión

Voltaje (mv)	Probabilidad de corrosión
<200	10% de probabilidad de inicio de corrosión
200-350	Incertidumbre
>350	90% de probabilidad inicio de corrosión

Tabla 14 Probabilidad de inicio de corrosión. Fuente: ASTM C876-15

ENSAYO												
27	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma	Toma
397	945	1011	330	292	395	412	673	591	1163	680	189	140
430	1024	324	90	216	67	109	539	654	209	539	236	133
451	1021	375	549	643	584	197	290	436	1074	183	328	152
667	797	1031	595	254	190	394	511	505	55	572	125	173
436	369	334	172	172	192	490	462	824	89	474	82	158
873	989	199	1057	515	235	277	251	630	27	655	147	108
2227	975	341	458	469	246	310	668	457	503	451	74	92
1203	1105	214	709	171	196	300	591	924	289	628	104	94
708	1136	999	471	400	363	524	716	768	426	269	98	87
765	907	990	943	343	379	336	561	333	569	848	19	161
			929	271	594	555	486	693	418	787	177	155
			845	481	556	458	570	450	685	973	112	107
									464	1107	153	159
									695	828	220	162
									562	637	289	246

Tabla 15 Resultados ensayo potencial de corrosión. Fuente: Propia

Se aplica el criterio de chauvenet que consiste en la eliminación de los datos atípicos en una serie de datos, y se calcula el valor promedio de estos datos.

Consultoría y Construcciones Civiles SAS	ENSAYO MÉTODO DE DÚO POLO PARA MEDICIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN EN REFUERZO - PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL CRITERIO DE CHAUVENET	
	PROYECTO	PY-1006-USPEC-PBE
	REALIZÓ	CCUC
	FECHA	MAYO DE 2024

No.	ENSAYO	VOLTAJE mv	VOLTAJE mv	CRITERIO DE RECHAZO Chauvenet	CRITERIO DE RECHAZO Resultado
1	27	397	397.00	0.75	INCLUIR
2	27	430	430.00	0.69	INCLUIR
3	27	451	451.00	0.66	INCLUIR
4	27	667	667.00	0.27	INCLUIR
5	27	436	436.00	0.68	INCLUIR
6	27	873	873.00	0.10	INCLUIR
7	27	2227	2227.00	2.54	DESCARTAR
8	27	1203	1203.00	0.70	INCLUIR
9	27	708	708.00	0.19	INCLUIR
10	27	765	765.00	0.09	INCLUIR
Límite Criterio Chauvenet				1.94	

Desv est=	556.0	PROMEDIO CON DATOS RECHAZADOS (mv)	815.70
Prom=	815.7		
Varianza=	309176.2		
Coef de variación=	0.68	PROMEDIO SIN DATOS RECHAZADOS (mv)	593.00
Voltaje min (mv)	397.00		
Voltaje máx (mv)	2227.00		
		Voltaje (mv)	593.00

Imagen 13. Ejemplo chauvenet para eliminación de datos atípicos. Fuente: Propia

Ensayo	Localización	Zona	Voltaje (mv)	Probabilidad de Corrosión
27	CO-U3	4	593	90% de probabilidad inicio de corrosión
28	CO-R3	4	890	90% de probabilidad inicio de corrosión
30	VA-R3-U3	4	582	90% de probabilidad inicio de corrosión
31	PLACA	4	596	90% de probabilidad inicio de corrosión
32	CO-P13	1	352	90% de probabilidad inicio de corrosión
33	CO-P14	1	333	Incertidumbre
34	PLACA	1	364	90% de probabilidad inicio de corrosión
35	CO-L13	1	527	90% de probabilidad inicio de corrosión
36	CO-J12	2	605	90% de probabilidad inicio de corrosión
37	CO-I9	3	404	90% de probabilidad inicio de corrosión
38	CO-F13	3	642	90% de probabilidad inicio de corrosión
39	CO-D9	3	135	10% de probabilidad de inicio de corrosión
40	CO-M.C	3	125	10% de probabilidad de inicio de corrosión

Tabla 16 Resultados final ensayo potencial de corrosión. Fuente: Propia

Con base en los resultados obtenidos, se aprecia que la gran mayoría de los elementos estructurales en las cuatro zonas muestran un alto nivel de probabilidad, aproximadamente del 90%, de experimentar corrosión en el acero de refuerzo. Este hallazgo sugiere que las estructuras enfrentan un riesgo significativo debido al debilitamiento estructural ocasionado por la corrosión actual o potencial del acero de refuerzo. Este problema puede atribuirse a varios factores, como un recubrimiento inadecuado, la presencia constante de humedad, filtraciones, pérdidas de sección y una falta de mantenimiento adecuado. Es crucial abordar estas causas subyacentes para mitigar el riesgo de deterioro estructural y garantizar la seguridad a largo plazo de las estructuras afectadas.

3.1.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

3.1.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto

Este ensayo corresponde a la perforación de elementos de concreto (viga, columna, placa, muro) mediante un equipo de extracción de núcleos que está constituido de una broca circular hueca de diámetro “2 o 3” y punta de diamante, que, de acuerdo a la configuración del refuerzo longitudinal y transversal del elemento, permite obtener una muestra del concreto (núcleo extraído) con una relación entre longitud y diámetro h/d cercano a 2.

Se realiza extracción de núcleos en 8 columnas y 4 vigas distribuidas en la edificación, que fueron ensayadas. Para la determinación del punto de extracción de cada núcleo, se realizó la detección del refuerzo mediante escáner, con el fin de que este no interfiriese con la extracción, teniendo en cuenta que en ese caso el núcleo se daría por rechazado y se debería reforzar el elemento. Posteriormente, en laboratorio se realiza la disposición de cada muestra en una prensa hidráulica para aplicar carga de forma constante, hasta que se llega a la falla de la muestra. La falla ocurre cuando la muestra deja de soportar carga y es cuando se registra la carga máxima sobre el elemento.

Es importante aclarar que de acuerdo con la norma ASTM C39-17 la interpretación de la resistencia a la compresión se debe tratar con cuidado, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto fabricado de cierta manera; es decir que los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, lote, mezclado, colocación, etc. Por lo que en laboratorio se realiza la corrección por esbeltes de la muestra de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC3658:2018

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 673:2018 – Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- Norma técnica colombiana NTC 3658:2018 – Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.
- ASTM C39/C39M:2014 – Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C42/C42M:2018 – Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

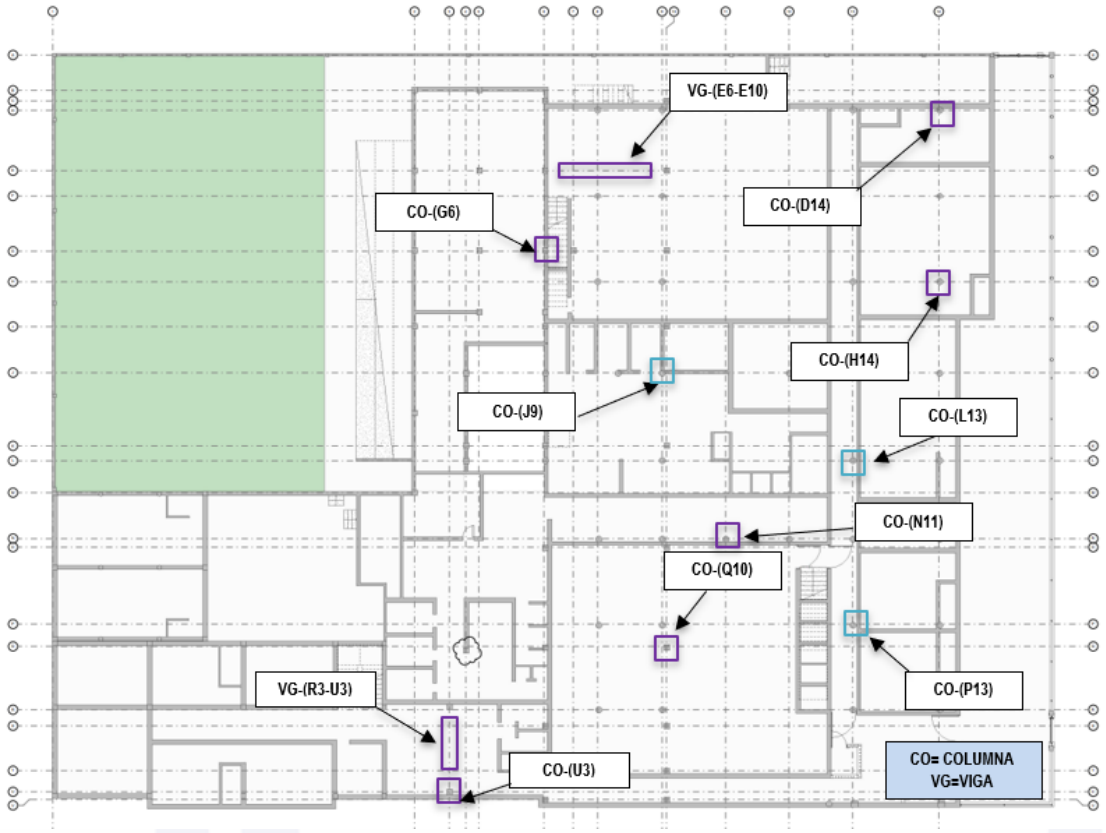


Imagen 14. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia

Se realizaron un total de 11 ensayos a la compresión en muestras de concreto extraídas de las zonas 1,2,3 y 4 tanto de la estructura más antigua como de los elementos que sirven de refuerzo de la zona 3 y 4.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	U3	1
Viga	R3-u3	1
Columna	Q10	1
Columna	H14	1
Columna	D14	1
Columna	G6	1
Viga	E6-E10	1
Columna	N11	1
Columna	P13	2
Columna	J9	2
Columna	L13	2

Tabla 17 Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia

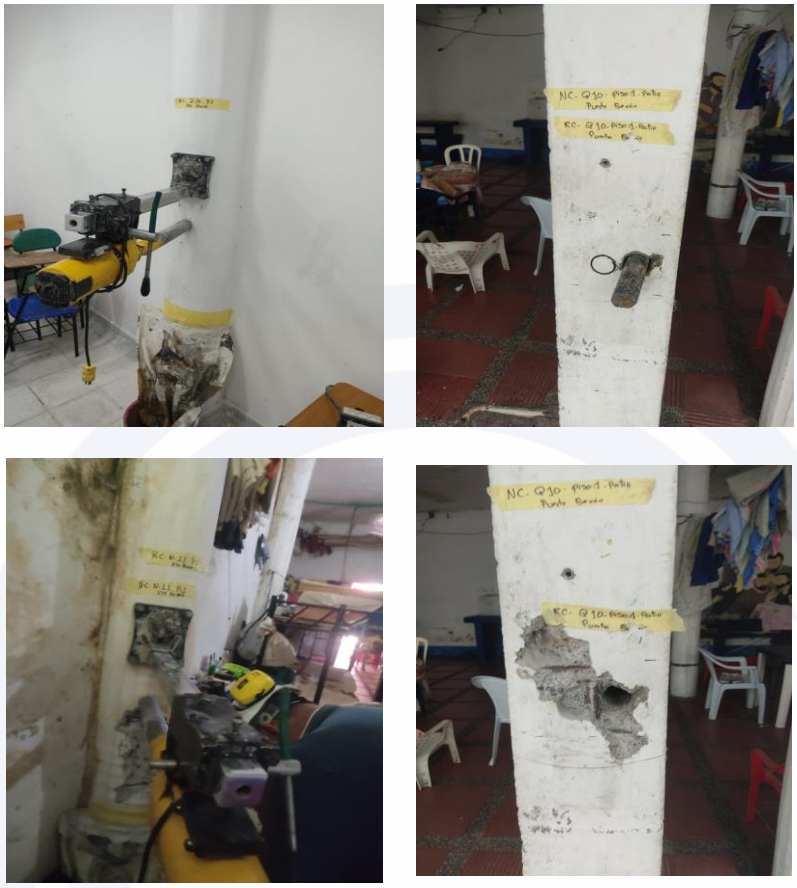


Imagen 15. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia

Resultados resistencia a la compresión cilindros de concreto

A continuación, se muestran los resultados del ensayo a compresión llevados a cabo en las muestras sacadas en situ.

ID	Zona	Estructura	Esfuerzo Máximo f'c
NC-P13	Zona 1	Antigua	7.5 MPa
NC -H14	Zona 1	Antigua	13 MPa
NC -L13	Zona 1	Antigua	8.3 MPa
NC -D14	Zona 1	Antigua	7.9 MPa
NC -N11	Zona 2	Antigua	11 MPa
NC -J8	Zona 3	Antigua	11.1 MPa
NC -Q10	Zona 3	Estructura de reforzamiento	16.7 MPa
NC -G6	Zona 3	Estructura de reforzamiento	8.2 MPa
NV-(E10-G10)	Zona 3	Estructura de reforzamiento	9 MPa
NV-(R3-U3)	Zona 4	Estructura de reforzamiento	10.9 MPa

NC-U3	Zona 4	Estructura de reforzamiento	15.8 MPa

Tabla 18 Resultados resistencia a la compresión en cilindros de concreto. Fuente: Propia

Con el fin de definir una resistencia promedio para el concreto que compone las estructuras y otro para los elementos que sirven de reforzamiento para la zona 3 -4 y al mismo tiempo eliminar algún dato atípico que no pueda ser representativo se aplica el criterio de "Chauvenet" teniendo así los siguientes resultados:

ID	f'c (Promedio)
Concreta zona 1-2-3	9.75 MPa
Concretos elementos de reforzamiento zona 3-4	12.12 MPa

Tabla 19 f'c concretos. Fuente: Propia

El reglamento de construcción sismo resistente NSR-10 en su numeral **C.1.1.1** establece que la resistencia mínima para elementos estructurales permitida es de f'c=17 Mpa, y para elementos pertenecientes al sistema de resistencia sísmica **C.21.1.4.2** un valor mínimo permitido de f'c=21 MPa.

Tomando en cuenta que los elementos estructurales constituyen el único sistema responsable de soportar las fuerzas sísmicas, se estipula que su resistencia mínima, según las normativas, debería ser de f'c=21MPa. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que la resistencia actual no alcanza ni siquiera el 50% de esa resistencia mínima. Por consiguiente, se concluye que la estructura se encuentra considerablemente por debajo de los estándares normativos actuales, lo que representa un riesgo significativo para su estabilidad y durabilidad en caso de un sismo de magnitud leve.

3.1.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación

Se realizó el ensayo de prueba de frente de carbonatación en cada uno de los núcleos obtenidos, que consiste en la aplicación de fenolftaleína en solución alcohólica al 1% a las muestras de concreto, y por medio de titulación, determinar el cambio de PH del concreto. Cuando la muestra presenta una tonalidad purpura se puede concluir que la muestra no ha sufrido de carbonatación, si la profundidad del frente de carbonatación alcanza el acero de refuerzo se pierde la protección que le proporciona el concreto al acero frente a la corrosión.







Imagen 16. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Propia

El objetivo del ensayo es medir la profundidad de la capa carbonatada situada cerca de la superficie el concreto endurecido en un momento determinado de su vida. La principal indicación que se obtiene de este ensayo es determinar si la carbonatación llega o no hasta el acero de refuerzo, lo que permite establecer si ha podido provocar o contribuir al desarrollo de la corrosión en caso de que esta se hubiese producido.

La medida de la profundidad de la capa carbonatada en los concreto se basa en la determinación de la reducción de la alcalinidad que supone la carbonatación, la cual se manifiesta mediante un indicador de pH, que la hace visible por cambios de coloración. La fenolftaleína toma color purpura para valores de pH superiores a 9.5 (concreto no carbonatado) y permanece incolora para valores de pH inferiores a 8 (concreto carbonatado). Para valores entre 8 y 9.5 toma una coloración entre rosa y purpura. (Tomado de la norma española UNE-EN 112011:2011).

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma Española UNE 112011:2011 – Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones en concreto y puestos en servicio.
- Norma Española UNE-EN 14630:2007 – Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. Esta norma es la versión oficial, en español de la Norma Europea EN 14630:2006.
- No existen procedimientos especificados en referencia a este ensayo entre las Normas Técnicas Colombianas.

Resultados ensayo frente de carbonatación concreto.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de frente de carbonatación llevado a cabo en situ.

ID	Nivel	Profundidad de Carbonatación
NC-Q10	Piso 1	0.00 mm
NC-D14	Piso 1	40.0 mm
NC-L13	Piso 2	60.0 mm
NC-H14	Piso 1	60.0 mm
NC-P13	Piso 2	00.0 mm
NC-N11	Piso 1	20.0 mm
NC-J9	Piso 2	0.00 mm
NV-(E10-G10)	Piso 2	60.0 mm

Tabla 20 Resultados frente de carbonatación en concreto. Fuente: Propia

Los resultados obtenidos sugieren que la mayoría de las estructuras de concreto exhiben una profundidad de carbonatación considerable, alcanzando e incluso superando la ubicación del acero de refuerzo. Es importante destacar que este fenómeno no solo reduce la vida útil de la estructura o elemento, sino que también compromete la protección de las armaduras, lo que conduce a una corrosión progresiva del acero de refuerzo y, por ende, debilita la integridad estructural.

Adicionalmente, la carbonatación del concreto tiene repercusiones estéticas, manifestándose en decoloración y manchas en la superficie del material. Este aspecto estético se ha observado en varias de las patologías identificadas durante el análisis. Por lo tanto, es crucial abordar estas cuestiones de manera inmediata para mantener la seguridad, durabilidad y apariencia visual de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.

3.1.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo

La realización de regatas para inspección directa del acero de refuerzo corresponde a la perforación de dimensiones y profundidad variable (depende del recubrimiento), tal que se pueda realizar la verificación de las varillas de refuerzo longitudinal y transversal de los elementos inspeccionados.

En los trabajos de campo se realiza la verificación de algunos elementos estructurales, con lo que se logra identificar la separación y distribución de los refuerzos, la cantidad y diámetro de las varillas de refuerzo

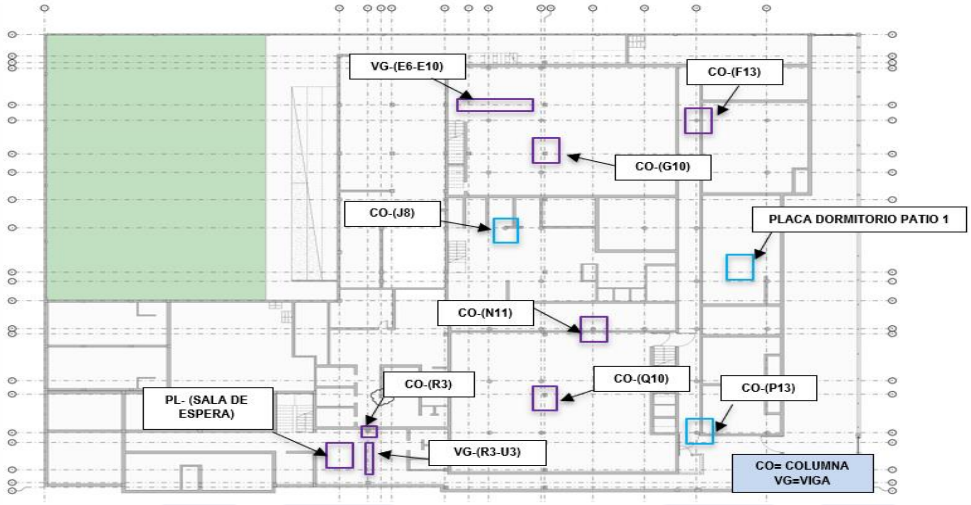


Imagen 17. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo. Fuente: Propia

Se realizaron un total de 11 regatas en elementos como placa, columnas y vigas para identificar el refuerzo de estos elementos.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	R3	1
Placa	Sala de espera	1
Viga	R3-U3	1
Columna	Q10	1
Columna	N11	1
Columna	G10	1
Columna	F13	1
Viga	E6-E10	1
Columna	P13	2
Columna	J8	2
Placa	Dormitorio Patio 1	2

Tabla 21 Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo. Fuente: Propia



Imagen 18. Ensayo regatas para inspección directa de refuerzo. Fuente. Propia

Resultados inspección directa de refuerzo

De acuerdo a la inspección directa del refuerzo en los elementos se tiene el siguiente refuerzo:

ID	# Barras Longitudinales	Diámetro Barra Longitudinal	Diámetro Estribo	Separación de Estribos	Tipo de acero de refuerzo
CO-REC-0.30X0.30m	8	#4	#3	0.15m	Liso
CO-CIR-0.30m	8	#4	#3	0.30m	Liso

Tabla 22 Refuerzo elementos según regatas

También se encuentra que las placas en las zonas 1-2-3 está conformada por viguetas de 0.25m de altura con un ancho de 0.10m y una separación una a la otra de 0.30m, el refuerzo es de una varilla arriba y abajo #4 lisa.

La placa de la zona 4 está conformada por viguetas de 0.15m de altura y un ancho de 0.15m separadas cada 0.60m con un refuerzo de dos barras una #6 y una #5.

3.1.3. CONCLUSIONES

- La estructura exhibe fisuras clasificadas como "Daño Leve" en los muros divisorios y en el cerramiento perimetral, causadas por el deterioro del mortero de unión y la ausencia de confinamiento. Además, se observan grietas en las aberturas de los vanos debido a la falta de acero de refuerzo incumpliendo así los requisitos establecidos en el reglamento de construcción sismo resistente NSR-10.
- Las estructuras exhiben una presencia constante de humedad en amplias áreas de placas, muros y elementos estructurales. Esta humedad es el resultado de filtraciones desde la cubierta, la fachada y las tuberías, lo que ha provocado el deterioro de los elementos y la aparición de hongos. Este problema no solo afecta la estética y la apariencia del material, sino que también acelera el desgaste de los elementos, reduciendo su vida útil.
- Dinteles, vigas, placas y columnas son algunos de los elementos que presentan en diferentes zonas de las estructuras perdida de material, lo cual compromete no solo su comportamiento mecánico y durabilidad si no también ha contribuido al constante avance de la corrosión presente en el acero de refuerzo de los elementos, comprometiendo la estabilidad y durabilidad de la estructura.
    - Las estructuras exhiben un grado avanzado de corrosión en el acero de refuerzo en varios elementos, como columnas, vigas y placas. Esta evaluación se basa en inspecciones visuales complementadas con resultados de ensayos de carbonatación y potencial de corrosión. Esta condición afecta ampliamente a la estructura, comprometiendo el comportamiento adecuado de los elementos estructurales y causando un debilitamiento sistemático. Esto representa un riesgo para la estabilidad y durabilidad de la estructura, especialmente frente a eventos sísmicos leves, lo que podría resultar en fallos estructurales en las áreas más afectadas por esta patología.
    - Teniendo en cuenta que los elementos estructurales constituyen el único sistema responsable de soportar las fuerzas sísmicas, se estipula que su resistencia mínima, según las normativas, debería ser de f'c=21MPa. Sin embargo, los resultados del ensayo a compresión de cilindros de concreto obtenidos muestran que la resistencia actual no alcanza ni siquiera el 50% de esa resistencia mínima. Por consiguiente, se concluye que la estructura se encuentra considerablemente por debajo de los estándares normativos actuales, lo que representa un riesgo significativo para su estabilidad y durabilidad en caso de un sismo de magnitud leve.
    - Los resultados muestran que el concreto utilizado para reforzar tanto la zona 3 como la zona 4 exhibe homogeneidad en sus propiedades. Además, se observa consistencia entre los concretos más antiguos de las zonas 1, 2 y 3. Estos hallazgos

sugieren una uniformidad en la calidad del concreto empleado en diferentes áreas del proyecto.

- Como resultado de la inspección directa del refuerzo se encuentra que al estructura cuenta con acero de refuerzo tipo liso, lo cual es concordante con la estructura teniendo en cuenta su época de construcción, más sin embargo es necesario aclarar que este tipo refuerzo no cumple con los requerimientos del reglamento de construcción sismo resistente NSR-10, por lo tanto se espera que la estructura no tenga el comportamiento adecuado ante un evento sísmico leve que garantice su estabilidad y seguridad.
- En resumen, los hallazgos indican que la carbonatación del concreto es un problema generalizado que afecta la mayoría de las estructuras, con una profundidad de carbonatación significativa que alcanza e incluso excede la ubicación del acero de refuerzo. Este proceso no solo acorta la vida útil de las estructuras y compromete la integridad de las armaduras, sino que también genera problemas estéticos visibles, como decoloración y manchas en la superficie del concreto. Por lo tanto, es imperativo abordar estos problemas de manera urgente para preservar la seguridad, durabilidad y apariencia estética de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.

- En los muros de cerramiento se encuentran inclinaciones que van desde el 0.1% al 0.5% aproximadamente. Para contrarrestar este inclinamiento y prevenir un posible volcamiento debido a fuerzas laterales dinámicas, es crucial implementar medidas de confinamiento en estos muros. Este confinamiento puede lograrse mediante la instalación de elementos verticales adicionales u otras estrategias diseñadas para reducir la excentricidad vertical. Estas acciones garantizarán una mayor estabilidad estructural y seguridad ante cargas externas, protegiendo así la integridad de la construcción y la seguridad de sus ocupantes.
- Aunque este estudio no aborda el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, ya que esto será objeto de un estudio de vulnerabilidad posterior, es crucial implementar las medidas de rehabilitación necesarias para asegurar la durabilidad y estabilidad de la estructura. Esto implica seguir las alternativas de intervención descritas en este informe para prevenir el continuo desgaste y debilitamiento provocado por las patologías mencionadas.

La información se encuentra a más detalle en el informe de patología “PY-1006-PATOLOGIA-PBE-VA”

3.2. ESTABLECIMIENTO DE TULUÁ

Para la caracterización de los materiales, se realizaron distintos tipos de pruebas y ensayos destructivos y no destructivos aplicados a los elementos estructurales, las pruebas realizadas consistieron en: extracción de núcleos de concreto para ensayo a la compresión, módulo de elasticidad, densidad, potencial de corrosión, profundidad de carbonatación, regatas de inspección, escáner de acero de refuerzo, esclerometrías y detección de acero con escáner, como se muestra a continuación:

Tipo de Ensayo	Unidad	Total
Extracción de núcleos de concreto	UN	13
Ensayo de Carbonatación	UN	13
Regatas	UN	18
Escáner de Acero	UN	16
Esclerometría	UN	18

Tabla 23 Tipo y cantidad de ensayos realizados. Fuente: Propia

3.2.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.2.1.1. Ensayo de Esclerometría

Determinar en forma indirecta y no destructiva, los rangos de resistencia probables de un concreto, para establecer correlaciones con los ensayos de ultrasonido y de núcleos, que permitan calificar la calidad y homogeneidad de este. El ensayo se realiza siguiendo las especificaciones de la norma NTC 3692.

Para la ejecución del ensayo se tomaron 16 valores de rebote, con los cuales se determinará el promedio de los valores obtenidos descartando los 3 valores máximos y 3 mínimos. Dichos valores son adimensionales. El índice de rebote determinado se empleó para la comprobación de la uniformidad del concreto “insitu”, para delimitar zonas o áreas de pobre calidad o concreto deteriorado en estructuras (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012).

El esclerómetro puede ser empleado para realizar comparaciones, tomando como referencia un concreto de resistencia conocida o un concreto perteneciente a una misma fundida (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012). Se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la resistencia del concreto.

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 3692:2018 – Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.
- Norma española UNE-EN 12504-2:2013 – Ensayo de hormigón en estructuras. Parte
    - 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 12504-2:2012.

- ASTM C805/C805M – 13° Standard Test Method for Rebound Number of Hardened
- Concrete.
- Norma española UNE-EN 13791:2009 – Evaluación de la resistencia a compresión in situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 13791:2007.
- Norma técnica China JGJ/T23-2001 – Technical Specification for Inspection of
- Concrete Compressive Strength by Rebound Method

Se realiza un total de 19 ensayos, repartidos por pisos en diferentes áreas.

Ejes de ubicación	Nivel
COLUMNA B-5 P4	4
COLUMNA B-5 P4	4
COLUMNA B-7 PISO 4	4
COLUMNA C-4 PISO 4	4
COLUMNA C-4 PISO 4	4
COLUMNA C-6-PISO 4	4
COLUMNA C-6-PISO 4	4
COLUMNA C-3 PISO 3	3
CULUMNA C-5 PISO 3	3
COLUMNA B-2 PISO 3	3
COLUMNA B-8 PISO 3	3
COLUMNA C-4 PISO 2	2
COLUMNA B-8 PISO 2	2
COLUMNA B-3 PISO 2	2
COLUMNA A-6 PISO 2	2
COLUMNA C-2 PISO 1	1
COLUMNA B-4 PISO 1	1
COLUMNA B-6 PISO 1	1
COLUMNA D-6 PISO 1	1

Tabla 23 Localización ensayos de esclerometría. Fuente: Propia



Imagen 19. Registro fotográfico ensayo esclerometría. Fuente: Propia

Resultados Ensayo de Esclerometría

En los valores que se presentan en a continuación en la Tabla 18, se sombrearon aquellos valores mínimos y máximos descartados, siguiendo el procedimiento definido en la NTC3692. Y se realizó el procesamiento de los datos para obtener una resistencia a la compresión estimada para el concreto que compone los elementos ensayados y también identificar principalmente la homogeneidad del concreto en las diferentes zonas.

GOLPE	LECTURA
1	3
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3
8	3
9	3
10	3
11	3
12	3
13	3
14	3
15	3
16	3

PROCESAMIENTO		
DATOS	R	37.7
37		
37	VALOR DE CARTA (MPa)	37.70
37	Error Estadístico Esclerómetro (+/-)	0.177
37		
37	Valor Estadístico 1	31.0
38	Valor Estadístico 2	44.4
38	Valor Tomado	31.0
38	Resistencia Especificada (Mpa)	21
39		
39	% de Resistencia	148%

Tabla 24 Análisis de tomas esclerometría

Consultoría y Construcciones Civiles SAS | USPEC UNIDAD DE SERVICIOS PENITENCIARIOS Y CARCELARIOS

ENSAYO ESCLERÓMETRO NTC 3692 - PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL CRITERIO DE CHAUVENET

PROYECTO	CYC 1006 EPMSC TULUA
REALIZÓ	DPCB
FECHA	MARZO 2024

TOMA	UBICACIÓN	N° DE REBOTE	f'c	CRITERIO DE RECHAZO	
			Mpa	Chauvenet	Resultado
1	COLUMNA B-5 P4	35.30	28.83	1.91	INCLUIR
2	COLUMNA B-5 P4	37.10	30.47	0.61	INCLUIR
3	COLUMNA B-7 PISO 4	36.70	30.14	0.11	INCLUIR
4	COLUMNA C-4 PISO 4	36.10	29.57	0.78	INCLUIR
5	COLUMNA C-4 PISO 4	36.20	29.65	0.65	INCLUIR
6	COLUMNA C-6-PISO 4	36.70	30.14	0.11	INCLUIR
7	COLUMNA C-6-PISO 4	37.00	30.39	0.48	INCLUIR
8	COLUMNA C-3 PISO 3	37.00	30.39	0.48	INCLUIR
9	CULUMNA C-5 PISO 3	35.20	28.75	2.04	INCLUIR
10	COLUMNA B-2 PISO 3	36.90	30.31	0.36	INCLUIR
11	COLUMNA B-8 PISO 3	37.20	30.55	0.74	INCLUIR
12	COLUMNA C-4 PISO 2	36.60	30.06	0.02	INCLUIR
13	COLUMNA B-8 PISO 2	35.90	29.41	1.03	INCLUIR
14	COLUMNA B-3 PISO 2	37.10	30.47	0.61	INCLUIR
15	COLUMNA A-6 PISO 2	36.70	30.14	0.11	INCLUIR
16	COLUMNA C-2 PISO 1	37.50	30.88	1.24	INCLUIR
17	COLUMNA B-4 PISO 1	35.90	29.41	1.03	INCLUIR
18	COLUMNA B-6 PISO 1	37.40	30.72	0.99	INCLUIR
19	COLUMNA D-6 PISO 1	37.80	31.13	1.62	INCLUIR
	Límite Criterio			2.19	

*PARA DATOS MÁS DETALLADO REMITIRSE AL ANEXO DE RESULTADOS DE LABORATORIO

ANALISIS COLUMNAS

Desv est=	0.6	PROMEDIO CON DATOS RECHAZADOS (Mpa)	30.08
Prom=	30.1		
Varianza=	0.4	PROMEDIO SIN DATOS RECHAZADOS (Mpa)	30.08
Coef de variación=	0.0		
f'c mínima (Mpa)=	28.8		
f'c máxima (Mpa)=	31.1	RESISTENCIA (Mpa)	30.1

Tabla 25 Resultados ensayos estructura

Aclarando que el ensayo de esclerometría es un ensayo de medición indirecta, que permite caracterizar la dureza superficial del concreto, se evidencia que la dispersión de datos de número de rebotes es alta, con los resultados obtenidos se puede decir que los concretos tienen una dureza media a alta y que los concretos de los elementos de reforzamiento tienen una resistencia aparente mayor que la estructura original más antigua.

De acuerdo a la normativa vigente, este ensayo NO es una alternativa a la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Para este estudio se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la homogeneidad del concreto.

3.2.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner

Este es un ensayo no destructivo que permite conocer la ubicación y la verificación de la existencia de acero de refuerzo, logrando detectar el diámetro y la profundidad a la que se encuentra. Sus resultados aportan información sobre los materiales y estructuras existentes. Para la realización del ensayo se empleó el equipo ZBL-R800 con el cual se pudo determinar separaciones y profundidades del acero de refuerzo en columnas. Este escáner emite una señal electromagnética sobre la superficie del elemento y recibe la señal de retorno inducida por el medio ferromagnético (acero de refuerzo) como respuesta a la excitación del emisor.

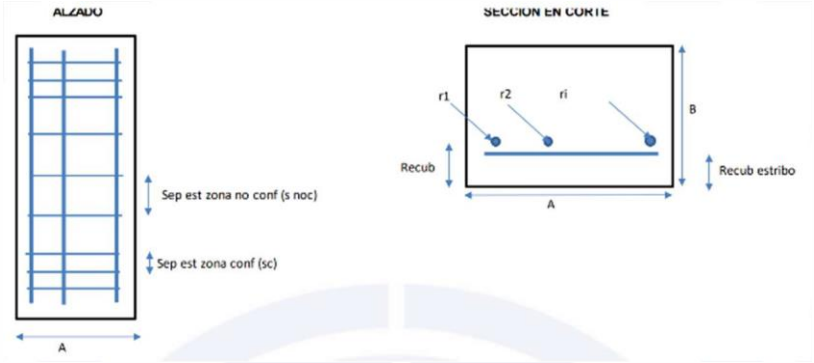


Imagen 20. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Propia

Normativa aplicable al ensayo:

- A la fecha no se han definido procedimientos mediante Normas Técnicas Colombianas aplicables a este ensayo.

Se realiza un total de 16 ensayos de detección de refuerzo con escáner los cuales se realizan en las zonas 1,2,3 y 4 tanto en la estructura con más antigüedad como en los elementos de reforzamiento de la zona 3.

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel	Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	C2	1	Columna	B2	3
Columna	B4	1	Columna	C3	3
Columna	B6	1	Columna	C5	3
Columna	D6	1	Columna	B8	3
Columna	B3	2	Columna	C4	4
Columna	C4	2	Columna	B5	4
Columna	A6	2	Columna	C6	4
Columna	C7	2	Columna	B7	4

Tabla 26 Localización ensayos de detección con scanner. Fuente: Propia



Imagen 13 Registro fotográfico ensayo. Fuente: Propia

Resultado de Ensayos de Detección de Refuerzo con Escáner

Se realizó el ensayo a las columnas de la estructura no se encontraron zonas de confinamiento. la separación de los estribos es de aproximadamente 10cm. Se encontraron 6 barras longitudinales por la cara más larga de las columnas de sección de 45X60cm. LA revisión detallada de los resultados de estas detecciones se puede observar en los anexos al presente informe. Se debe tener en cuenta que estos resultados son producto de un ensayo indirecto por lo tanto se pueden tener variaciones a la hora de realizar las regatas e inspeccionar directamente el refuerzo como se muestra en numerales más delante de este informe.

A continuación, se presenta un extracto de la distribución de refuerzo que se obtuvo de las inspecciones realizadas en la edificación.

3.2.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

3.2.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto

Este ensayo corresponde a la perforación de elementos de concreto (viga, columna, placa, muro) mediante un equipo de extracción de núcleos que está constituido de una broca circular hueca de diámetro “2 o 3” y punta de diamante, que, de acuerdo a la configuración del refuerzo longitudinal y transversal del elemento, permite obtener una muestra del concreto (núcleo extraído) con una relación entre longitud y diámetro h/d cercano a 2.

Se realiza extracción de núcleos en 6 columnas y 6 vigas además de una muestra en las zapatas. Para la determinación del punto de extracción de cada núcleo, se realizó la detección del refuerzo mediante escáner, con el fin de que este no interfiriese con la extracción, teniendo en cuenta que en ese caso el núcleo se daría por rechazado y se debería reforzar el elemento. Posteriormente, en laboratorio se realiza la disposición de cada muestra en una prensa hidráulica para aplicar carga de forma constante, hasta que se llega a la falla de la muestra. La falla ocurre cuando la muestra deja de soportar carga y es cuando se registra la carga máxima sobre el elemento.

Es importante aclarar que de acuerdo con la norma ASTM C39-17 la interpretación de la resistencia a la compresión se debe tratar con cuidado, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto fabricado de cierta manera; es decir que los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, lote, mezclado, colocación, etc. Por lo que en laboratorio se realiza la corrección por esbeltes de la muestra de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC3658:2018

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 673:2018 – Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- Norma técnica colombiana NTC 3658:2018 – Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.
- ASTM C39/C39M:2014 – Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C42/C42M:2018 – Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beas of Concrete.

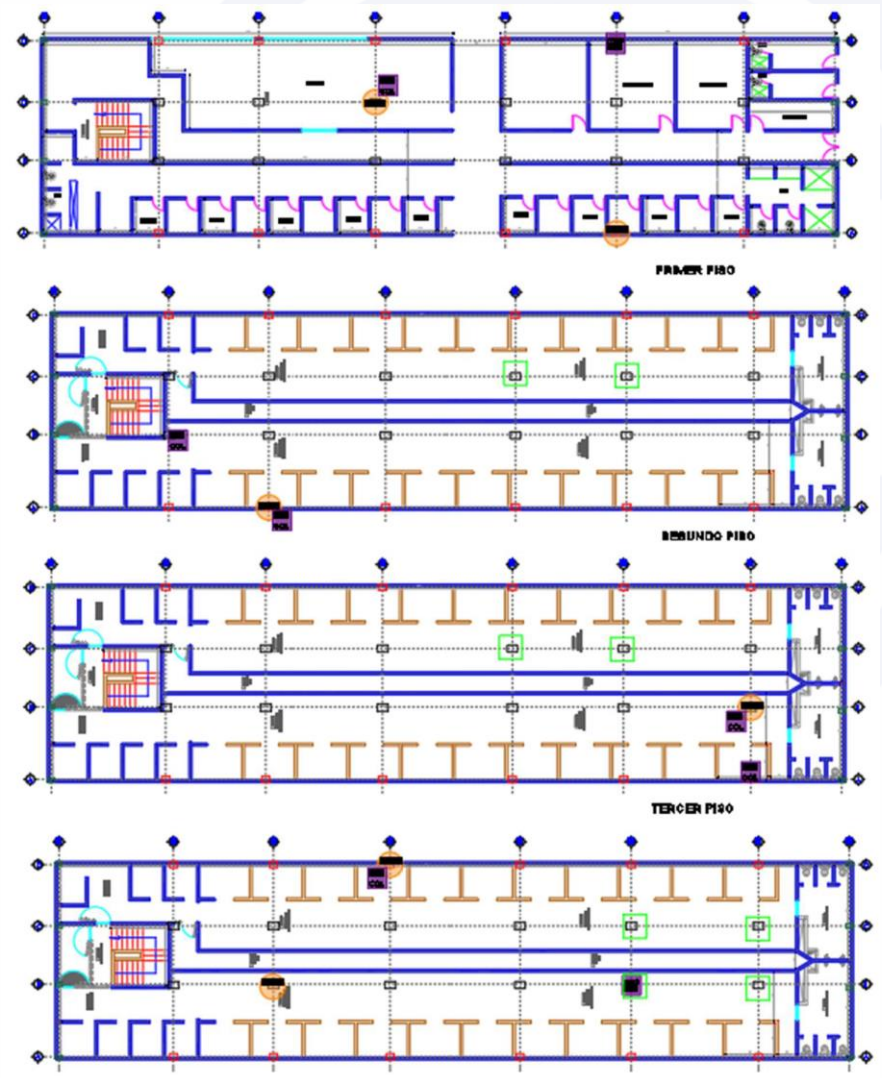


Imagen 21. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia

Teniendo en cuenta las características de la edificación presentes en el proyecto, con cuatro niveles y un área aproximada de 2000m2, construido aproximadamente en el año 1970, y que en el estudio realizado por DP INGENIERIA SAS (Mayo 2023) se encuentran los resultados a compresión de 8 núcleos de concreto, 13 ensayos de esclerometrías, y 4 detecciones magnéticas de refuerzo con equipo especializado sobre elementos tipo columnas y vigas , se determinó una cantidad mínima de ensayos a realizar en las edificación.

A los núcleos existentes se les realizo prueba de resistencia a la compresión en laboratorios certificados, lo planteado en este plan sirve como complemento a la exploración realizada previamente, por lo anterior se ejecutarán por parte de la presente consultoría 9 núcleos adicionales para un total de resultados de ensayo para determinación de resistencia a la compresión de 17 Núcleos, con esta cantidad se cumple un tamaño de muestra suficiente para la caracterización de la resistencia a la compresión presente en la edificación. Aunado a esto y como consultores especialistas en el ramo, se centran los recursos en las regatas y otros ensayos para determinar las cuantías presentes en los elementos estructurales. Se tiene además una caracterización de materiales más amplia en el piso 4 que es la zona más afectada de la estructura.



Imagen 22. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia

Resultados resistencia a la compresión cilindros de concreto

A la fecha no se cuenta con los resultados de laboratorio para el ensayo de resistencia a la compresión en núcleos de concreto.

3.2.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación

Se realizó el ensayo de prueba de frente de carbonatación en cada uno de los núcleos obtenidos, que consiste en la aplicación de fenolftaleína en solución alcohólica al 1% a las muestras de concreto, y por medio de titulación, determinar el cambio de PH del concreto. Cuando la muestra presenta una tonalidad purpura se puede concluir que la muestra no ha sufrido de carbonatación, si la profundidad del frente de carbonatación alcanza el acero de

refuerzo se pierde la protección que le proporciona el concreto al acero frente a la corrosión.



Imagen 23. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Propia

El objetivo del ensayo es medir la profundidad de la capa carbonatada situada cerca de la superficie el concreto endurecido en un momento determinado de su vida. La principal indicación que se obtiene de este ensayo es determinar si la carbonatación llega o no hasta el acero de refuerzo, lo que permite establecer si ha podido provocar o contribuir al desarrollo de la corrosión en caso de que esta se hubiese producido.

La medida de la profundidad de la capa carbonatada en los concreto se basa en la determinación de la reducción de la alcalinidad que supone la carbonatación, la cual se manifiesta mediante un indicador de pH, que la hace visible por cambios de coloración. La fenolftaleína toma color purpura para valores de pH superiores a 9.5 (concreto no carbonatado) y permanece incolora para valores de pH inferiores a 8 (concreto carbonatado). Para valores entre 8 y 9.5 toma una coloración entre rosa y purpura. (Tomado de la norma española UNE-EN 112011:2011).

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma Española UNE 112011:2011 – Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones en concreto y puestos en servicio.
- Norma Española UNE-EN 14630:2007 – Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. Esta norma es la versión oficial, en español de la Norma Europea EN 14630:2006.
- No existen procedimientos especificados en referencia a este ensayo entre las Normas Técnicas Colombianas.

Resultados ensayo frente de carbonatación concreto.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de frente de carbonatación llevado a cabo en situ.

Consultoría y Construcciones Civiles Ltda.	REPORTE DE ENSAYO DE CARBONATACION EN CAMPO	USPEC UNIDAD DE SERVICIOS PENITENCIARIOS Y CARCELARIOS
PROYECTO:	PY 1006 - VUL REF EPMSC TULUA USPEC	
REALIZÓ:	DCJO	
FECHA:	1/03/2024	

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PROFUNDIDAD DE CARBONATACION (mm)	CRITERIO DE ACEPTACION
NC 5-C P1	0.0	ACEPTABLE
NC 3-A P1	60.0	NO ACEPTABLE
NV 4(C-D) P2	0.0	ACEPTABLE
NC 6-4 P2	35.0	NO ACEPTABLE
NV D(2-3) P2	50.0	NO ACEPTABLE
NC 2-B P3	50.0	NO ACEPTABLE
NV 7(B-C) P3	30.0	NO ACEPTABLE
NV B(7-8) P3	30.0	NO ACEPTABLE
NC 5-C P4	0.0	ACEPTABLE
NC 6-B P4	50.0	NO ACEPTABLE

Tabla 27 Resultados frente de carbonatación en concreto. Fuente: Propia

Los resultados obtenidos sugieren que la mayoría de las estructuras de concreto exhiben una profundidad de carbonatación considerable, alcanzando e incluso superando la ubicación del acero de refuerzo. Es importante destacar que este fenómeno no solo reduce la vida útil de la estructura o elemento, sino que también compromete la protección de las armaduras, lo que conduce a una corrosión progresiva del acero de refuerzo y, por ende, debilita la integridad estructural.

Adicionalmente, la carbonatación del concreto tiene repercusiones estéticas, manifestándose en decoloración y manchas en la superficie del material. Este aspecto estético se ha observado en varias de las patologías identificadas durante el análisis. Por lo tanto, es crucial abordar estas cuestiones de manera inmediata para mantener la seguridad, durabilidad y apariencia visual de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.

3.2.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo

Los resultados de las regatas se encuentran en etapa de digitalización y análisis.

3.2.3. CONCLUSIONES

- La estructura exhibe lesiones clasificadas como Leves a moderadas en los pisos 1 y 2, siendo las más frecuentes humedades, desprendimiento de material debidas principalmente a la falta de mantenimiento, los factores ambientales y a intervención humana anterior por instalación de cubiertas, o daño.
- Los pisos 3 y 4 presenta lesiones moderadas a graves y severas, debido a la acción del fuego del incendio ocurrido el día 28 de junio de 2022, las lesiones más frecuentes son fisuras y grietas, desprendimiento de material, y especialmente cambios físico químicos que influyen en las propiedades de adherencia entre el cemento y sus agregados, cambiando así las propiedades de

resistencia del concreto, esto específicamente en algunas columnas de piso 4 y en las vigas y losas de cubierta. El acero de refuerzo que se encuentra sin recubrimiento se observa con presencia de oxidación y corrosión en algunos casos puntuales.

- Los elementos no estructurales, además de presentar lesiones leves por falta de mantenimiento, intemperie y el abandono en general de la edificación, no presenta lesiones de gravedad, no se observan fisuras que indiquen algún asentamiento o deflexión en la estructura.
- Como resultado de la inspección directa del refuerzo se encuentra que a la estructura cuenta con acero de refuerzo tipo liso, lo cual es concordante con la estructura teniendo en cuenta su época de construcción. El análisis de la totalidad de las regatas de inspección se encuentra en fase de análisis.
- En resumen, los hallazgos indican que la carbonatación del concreto es un problema generalizado que afecta la mayoría de las estructuras, con una profundidad de carbonatación significativa que alcanza e incluso excede la ubicación del acero de refuerzo. Este proceso no solo acorta la vida útil de las estructuras y compromete la integridad de las armaduras, sino que también genera problemas estéticos visibles, como decoloración y manchas en la superficie del concreto. Por lo tanto, es imperativo abordar estos problemas de manera urgente para preservar la seguridad, durabilidad y apariencia estética de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.
- Aunque este estudio no aborda el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, ya que esto será objeto de un estudio de vulnerabilidad posterior, es crucial implementar las medidas de rehabilitación necesarias para asegurar la durabilidad y estabilidad de la estructura. Esto implica seguir las alternativas de intervención descritas en este informe para prevenir el continuo desgaste y debilitamiento provocado por las patologías mencionadas.

3.3. ESTABLECIMIENTO DE SAN ANDRES

Para la caracterización de los materiales, se establecieron distintos tipos de pruebas y ensayos destructivos y no destructivos, aplicados a los elementos estructurales, los cuales consistieron en: extracción de núcleos de concreto para ensayo a la compresión, potencial de corrosión, profundidad de carbonatación, regatas de inspección, esclerometría y detección de acero con escáner, como se muestra a continuación:

Tabla 28 Resumen ensayos realizados

Tipo de Ensayo	N+7.00	N+11.00	Total
Extracción de núcleos	4	4	**8**
Ensayo de Carbonatación	4	4	**8**
Regatas	4	2	**6**
Potencial de Corrosión	4	2	**6**
Escáner de Acero	10	5	**15**
Esclerometría	10	5	**15**

Los formatos de ensayos no destructivos se relacionan en Anexo 2 formatos de esclerometría y Anexo 3 formato de detección acero con escáner.

3.3.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.3.1.1. Ensayo de Esclerometría

Determinar en forma indirecta y no destructiva, los rangos de resistencia probables de un concreto, para establecer correlaciones con los ensayos de ultrasonido y de núcleos, que permitan calificar la calidad y homogeneidad de este. El ensayo se realiza siguiendo las especificaciones de la norma NTC 3692.

Para la ejecución del ensayo se tomaron 16 valores de rebote, con los cuales se determinará el promedio de los valores obtenidos descartando los 3 valores máximos y 3 mínimos. Dichos valores son adimensionales. El índice de rebote determinado se empleó para la comprobación de la uniformidad del concreto "in situ", para delimitar zonas o áreas de pobre calidad o concreto deteriorado en estructuras (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012).

El esclerómetro puede ser empleado para realizar comparaciones, tomando como referencia un concreto de resistencia conocida o un concreto perteneciente a una misma fundida (según la Norma Europea UNE-EN12504-2:2012). Es así que, se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la resistencia del concreto.

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 3692:2018 – Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.
- Norma española UNE-EN 12504-2:2013 – Ensayo de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 12504-2:2012.
- ASTM C805/C805M – 13° Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.
- Norma española UNE-EN 13791:2009 – Evaluación de la resistencia a compresión in situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón. Esta norma es la versión oficial en español de la norma EN 13791:2007.
- Norma técnica China JGJ/T23-2001 – Technical Specification for Inspection of Concrete Compressive Strength by Rebound Method

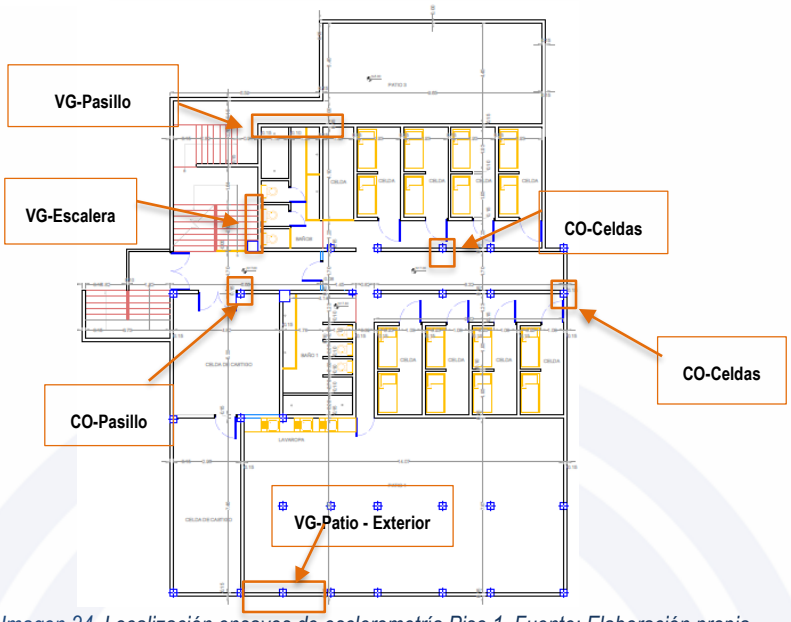


Imagen 24. Localización ensayos de esclerometría Piso 1. Fuente: Elaboración propia

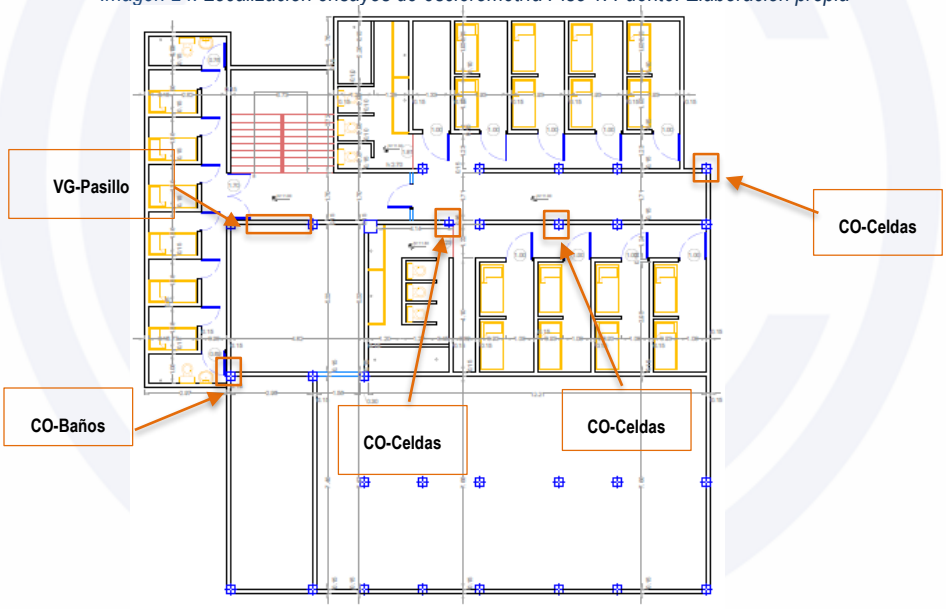


Imagen 25. Localización ensayos de esclerometría Piso 2. Fuente: Elaboración propia

Se realiza un total de 15 ensayos de esclerometría.

Tabla 29 Localización ensayos de esclerometría. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Viga	Fachada occidental	1
Columna	Celdas	2
Columna	Celdas	2
Columna	Celdas	2
Columna	Baños	2
Viga	Patio exterior	1
Viga	Pasillo	2
Columna	Patio 3	1

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	Patio 3	1
Viga	Patio 3	1
Viga	Escalera	1
Columna	Celdas	1

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	Fachada Oriental	1
Viga	Fachada Oriental	1
Viga	Fachada Norte	1

Resultados Ensayo de Esclerometría

Se realizó el procesamiento de los datos siguiendo el procedimiento definido en la NTC3692 para obtener una resistencia a la compresión estimada para el concreto que compone los elementos ensayados y también identificar principalmente la homogeneidad del concreto en las diferentes zonas.

Tabla 30 Resultados ensayos esclerometría.

Identificación	Valor Rebote Promedio	Resistencia deducida (kgf/cm²)	Resistencia deducida (Mpa)
ESC-VIGA-FACHADA OCC.	30	210	20.6
ESC-COL-CELDAS-PISO-2.	30.2	212	20.8
ESC-COL-CELDAS-PISO-2.	30.4	214	21.0
ESC-COL-PATIO-3-PISO-2.	30.6	216	21.2
ESC-COL-BAÑOS-PISO-2.	29.4	198	19.4
ESC-VIGA-PATIO -EXT.	30.2	212	20.8
ESC-VIGA-PASILLO -PISO-2.	30.4	214	21.0
ESC-COL-PATIO-3-PISO-1.	30.7	217	21.3
ESC-COL-PATIO-3-PISO-1.	31	220	21.6
ESC-VIGA-PATIO-3-PISO-1.	30.2	212	20.8
ESC-VIGA-ESCALERA-PISO-1.	30.6	216	21.2
ESC-COL-CELDAS-PISO-1.	31.3	225.4	22.1
ESC-COL-FACHADA ORI.	30.1	211	20.7
ESC-VIGA-FACHADA ORI.	31	220	21.6
ESC-COL-FACHADA NOR.	31.1	221	21.7



Imagen 26. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia

Aclarando que el ensayo de esclerometría es un **ensayo de medición indirecta**, que permite caracterizar la dureza superficial del concreto, se evidencia que la dispersión de datos de número de rebotes es baja. Con estos resultados se puede decir que los concretos tienen una dureza media a alta y una resistencia aparentemente homogénea en la edificación, incluso entre etapas. Estos hallazgos sugieren una uniformidad en la calidad del concreto empleado en diferentes áreas del proyecto

De acuerdo a la normativa vigente, este ensayo **NO** es una alternativa a la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Para este estudio se realizaron ensayos de esclerometría como método indirecto para identificar la homogeneidad del concreto.

3.3.1.2. Ensayo de Detección de Refuerzo con Escáner

Este es un ensayo no destructivo que permite conocer la ubicación y la verificación de la existencia de acero de refuerzo, logrando detectar el diámetro y la profundidad a la que se encuentra. Sus resultados aportan información sobre los materiales y estructuras existentes. Para la realización del ensayo se empleó el equipo ZBL-R800 con el cual se pudo determinar separaciones y profundidades del acero de refuerzo en columnas. Este escáner emite una señal electromagnética sobre la superficie del elemento y recibe la señal de retorno inducida por el medio ferromagnético (acero de refuerzo) como respuesta a la excitación del emisor.

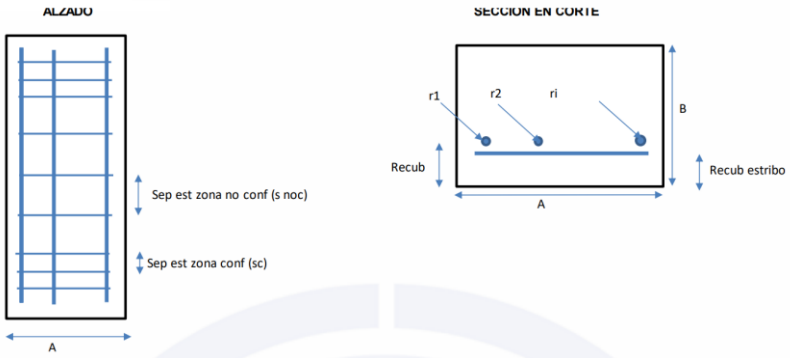


Imagen 27. Diagrama- Ensayo de detección de refuerzo con escáner. Fuente: Elaboración propia

Normativa aplicable al ensayo:

- A la fecha no se han definido procedimientos mediante Normas Técnicas Colombianas (NTC – ICONTEC) aplicables a este ensayo.

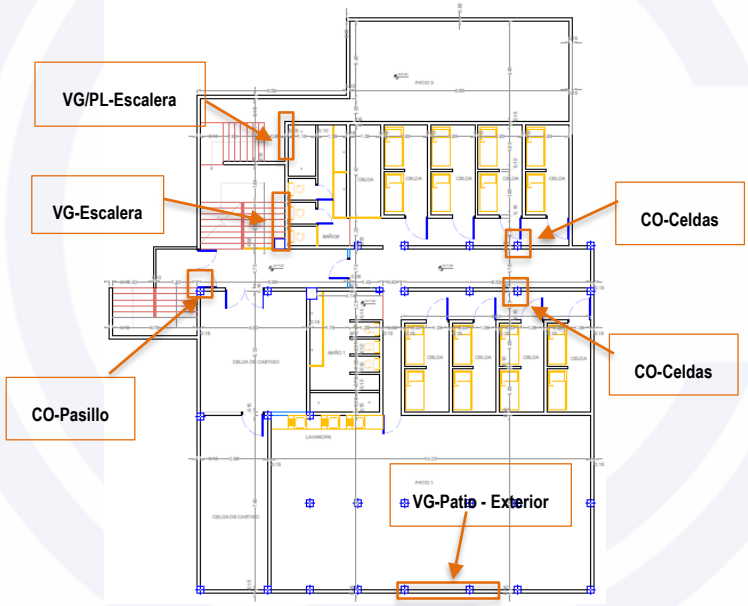


Imagen 28. Localización ensayos detección con scanner piso 1. Fuente: propia

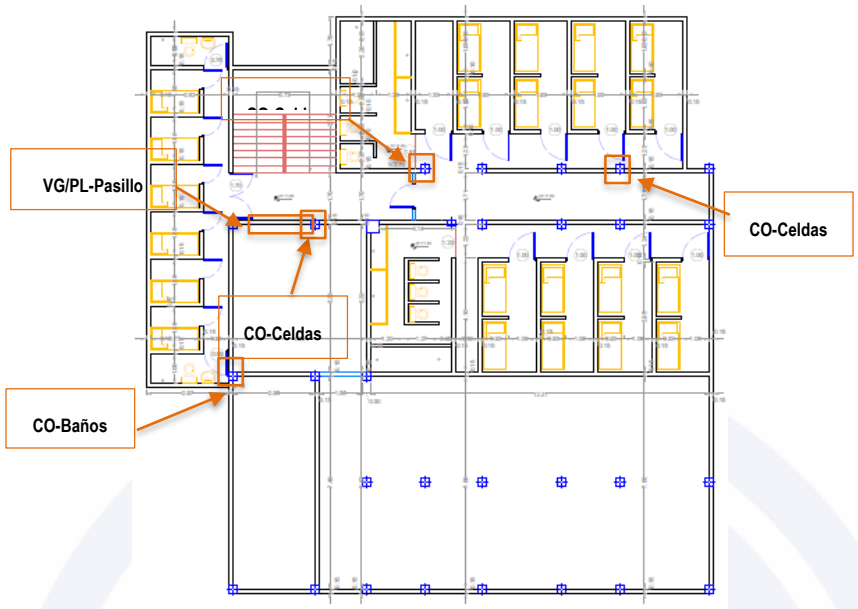


Imagen 29. Localización ensayos detección con scanner piso 2. Fuente: propia

Se realiza un total de 15 ensayos de detección de refuerzo.

Tabla 31 Localización ensayos de detección con scanner. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	D-2	1
Columna	D-2	1
Columna	D-9	1
Columna	D-9	1
Columna	C-9	1
Columna	C-9	1
Viga	5(B-C)	+9.95
Viga	B(3-4)	+9.95
Viga	A(5-6)	+7.00
Viga	G(6-8)	+7.00
Columna	C-6	2
Columna	C-9	2
Columna	C-9	2
Columna	D-3	2
Viga	C(2-3)	+12.90



Imagen 30. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia

Resultado de Ensayos de Detección de Refuerzo con Escáner

Se realizó el ensayo a las columnas detectando solamente una varilla longitudinal por cara, no fue posible detectar las varillas de las esquinas de las columnas, probablemente a causa de la profundidad del refuerzo desde el pañete. Sin embargo, los estribos sí se detectaron, con separaciones de 10 cm y 20 cm, identificando que algunas columnas sí tenían una zona de confinamiento. También se realizó el ensayo a las vigas, en las cuales se detectó en las caras laterales el refuerzo longitudinal y los estribos con separaciones de 10 cm, 15 cm y 20 cm identificando así algunas zonas confinadas. Hay que tener en cuenta que estos resultados son producto de un ensayo indirecto por lo tanto se pueden tener variaciones a la hora de realizar las regatas e inspeccionar directamente el refuerzo como se muestra en numerales más delante de este informe.

A continuación, se presenta un extracto de la distribución de refuerzo que se obtuvo de las inspecciones realizadas en la edificación.

Tabla 32 Extracto de distribución de refuerzo obtenido mediante detección de refuerzo con escáner. Fuente: Elaboración propia

Nombre elemento	C-1	C-1	C-2	C-2	C-3	C-3	V-1	V-2	V-3
Ubicación ejes	D-2 Piso 1	D-2 Piso 1	D-9 Piso 1	D-9 Piso 1	C-9 Piso 1	C-9 Piso 1	5(B-C) N+11.00	B(3-4) N+11.00	A(5-6) N+7.00
Cara escaneada	Occidente	Sur	Oriente	Norte	Occidente	Sur	Sur	Oriente	Sur
A	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	-	-	-
B	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
S noc (m)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	-	0.15
Sc (m)	0.1	0.1	0.1	-	0.1	-	-	0.1	-
diam estrib	-	-	-	-	-	-	-	-	-
recub estrib	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cant ref long	1	1	1	1	1	1	1	2	2
diam r1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
diam r2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.3.1.3. Ensayo Directo Para Medición de Potenciales de Corrosión en Refuerzo con Electrodo de Referencia.

El alcance del ensayo fue la estimación del potencial de corrosión en el acero de refuerzo sin revestimiento, con el propósito de determinar la probabilidad de inicio en la actividad corrosiva. De ahí que, el método está limitado por la conductividad eléctrica del concreto y la superficie del elemento, esta última debe estar libre de sellantes o algún otro producto que la recubra (incluyendo acabados).

Este método es adecuado para la evaluación de estructuras en servicio sin importar el recubrimiento al acero de refuerzo hasta los 75 mm de grosor, sin embargo, el método no debe usarse para estimar las propiedades del acero que hace parte del refuerzo del elemento ni las prestaciones estructurales del mismo. Por otra parte, con respecto a la medición, esta se basa en el principio físico de los circuitos, donde un medio es o no más resistivo a la migración de electrones, la cual es medida a través de un voltímetro de alta impedancia, que reportará los cambios en el flujo como alteraciones del potencial eléctrico.

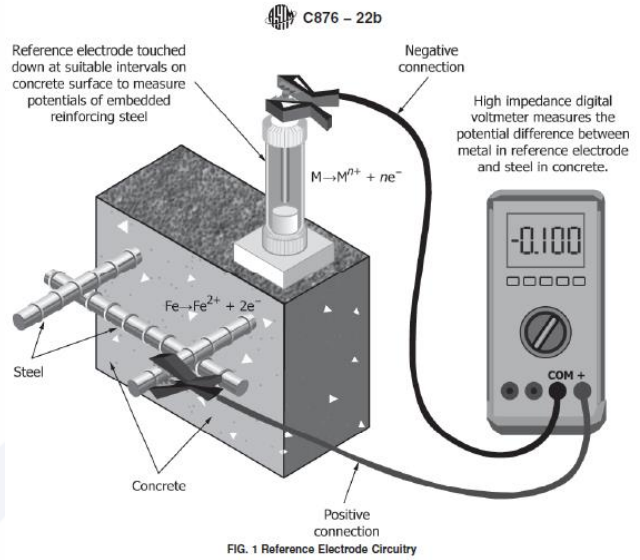


Imagen 31. Conectividad entre electrodo de referencia y acero de refuerzo. Fuente: ASTM C876-22b

Los resultados se analizan en conjunto con otros ensayos como profundidad de carbonatación, levantamientos de otras patologías, y evaluación de condiciones medioambientales. Lo anterior para concluir sobre la probabilidad en el inicio de la actividad corrosiva y su efecto en la vida de servicio de la estructura.

Normativa aplicable al ensayo:

- ASTM C876-22b - Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- Norma Española UNE 112083 de diciembre de 2010: Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado.
- No existen Normas Técnicas Colombianas referentes a este ensayo

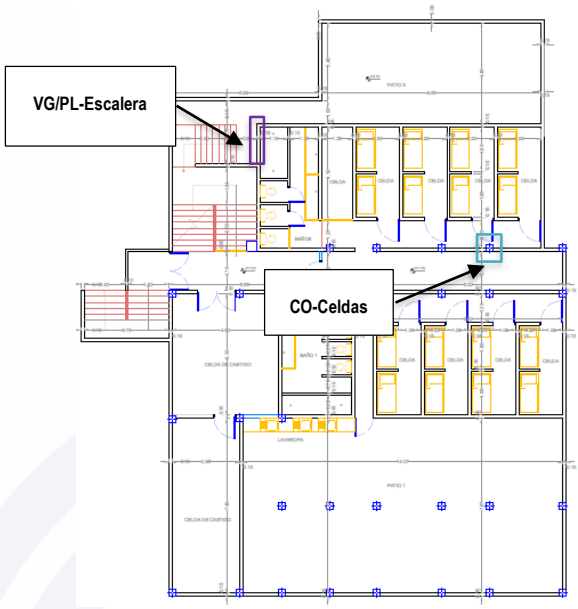


Imagen 32. Localización de ensayos potencial de corrosión Piso 1. Fuente: Elaboración propia

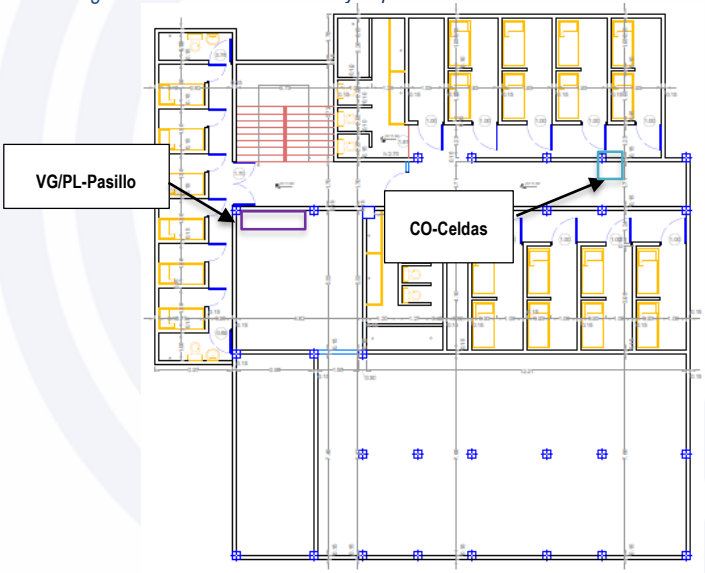


Imagen 33. Localización de ensayos potencial de corrosión Piso 2. Fuente: Elaboración propia

Se realiza un total de 15 ensayos de potencial de corrosión.

Tabla 33 Localización de ensayos potencial de corrosión. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel	# Ensayo
Columna	RC1	--	40
Columna	RC2	--	41
Viga	RV piso2 patio 3	--	42
Viga	RV1	--	43
Columna	RC garita	--	44

Viga	RV garita	--	45



Imagen 34. Registro fotográfico ensayo. Fuente: Elaboración propia

Resultados Ensayo

Para el análisis de resultados de potencial de corrosión, se tuvo en cuenta la norma ASTM C876-22B, en el cual se clasifican los alores obtenidos de potencial en mV de acuerdo con la probabilidad de inicio de corrosión según

Voltaje (mv)	Probabilidad de corrosión
<200	10% de probabilidad de inicio de corrosión
200-350	Incertidumbre
>350	90% de probabilidad inicio de corrosión

Tabla 34 Probabilidad de inicio de corrosión. Fuente: ASTM C876-15

Voltaje (mv)	Probabilidad de corrosión
<200	10% de probabilidad de inicio de corrosión
200-350	Incertidumbre
>350	90% de probabilidad inicio de corrosión

Tabla 35 Resultados ensayo potencial de corrosión. Fuente: Elaboración propia

Tomas de voltage (mv)					
Ensayo 40	Ensayo 41	Ensayo 42	Ensayo 43	Ensayo 44	Ensayo 45
281	513	528	476	313	301
354	503	516	453	304	339
360	429	526	472	334	319
275	422	550	465	338	293
398	430	520	468	288	301
404	419	515	460	336	302
313	430	515	465	342	316
316	446	532	489	319	317
363	432	517	469	333	297
430	436	540	471	311	304
366	423	522	461	313	300
1073	460	521	486		
	828	572	831		
	830	821			
	464	540			
	444	539			
		575			
		533			
		567			
		554			
		868			
		869			

Se aplica el criterio de chauvenet que consiste en la eliminación de los datos atípicos en una serie de datos, y se calcula el valor promedio de estos datos.

Tabla 36 Ejemplo chauvenet para eliminación de datos atípicos. Fuente: Elaboración propia

Consultoría y Construcciones Civiles SAS

ENSAYO MÉTODO DE DÚO POLO PARA MEDICIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN EN REFUERZO - PROCESAMIENTO DE DATOS POR EL CRITERIO DE CHAUVENET

PROYECTO	PY-1006-USPEC-SAI
REALIZÓ	JCTU
FECHA	OCTUBRE DE 2024

No.	ENSAYO	VOLTAJE mv	VOLTAJE mv	CRITERIO DE RECHAZO Chauvenet	Resultado
1	40	281	281.00	0.61	INCLUIR
2	40	354	354.00	0.27	INCLUIR
3	40	360	360.00	0.24	INCLUIR
4	40	275	275.00	0.64	INCLUIR
5	40	398	398.00	0.06	INCLUIR
6	40	404	404.00	0.03	INCLUIR
7	40	313	313.00	0.46	INCLUIR
8	40	316	316.00	0.44	INCLUIR
9	40	363	363.00	0.22	INCLUIR
10	40	430	430.00	0.09	INCLUIR
11	40	366	366.00	0.21	INCLUIR
12	40	1073	1073.00	3.10	DESCARTAR
Límite Criterio Chauvenet				2.02	

Desv est=	213.8	PROMEDIO CON DATOS	411.08
Prom=	411.1		
Varianza=	45729.7		
Coef de variación=	0.52	PROMEDIO SIN DATOS	321.67
Voltaje min (mv)	275.00		
Voltaje máx (mv)	1073.00		
		Voltaje (mv)	321.67

Ensayo	Localización	Zona	Voltaje (mv)	Probabilidad de Corrosión
40	CO-U3	4	321	Incertidumbre
41	CO-R3	4	390	90% de probabilidad inicio de corrosión
42	VA-R3-U3	4	500	90% de probabilidad inicio de corrosión
43	PLACA	4	433	90% de probabilidad inicio de corrosión
44	CO-P13	1	321	Incertidumbre
45	CO-P14	1	233	Incertidumbre

Tabla 37 Resultados final ensayo potencial de corrosión. Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se aprecia que el 50% de los elementos estructurales en los que se realizó el ensayo, muestran un 90% de probabilidad de experimentar corrosión en el acero de refuerzo, mientras que del otro 50% se tiene incertidumbre. Este hallazgo sugiere que la estructura enfrenta un riesgo significativo debido al debilitamiento estructural ocasionado por la corrosión actual o potencial del acero de refuerzo. Este problema puede atribuirse a varios factores, como un recubrimiento inadecuado, la presencia constante de humedad, filtraciones, pérdidas de sección y una falta de mantenimiento adecuado. Es crucial abordar estas causas subyacentes para mitigar el riesgo de deterioro estructural y garantizar la seguridad a largo plazo de las estructuras afectadas.

3.3.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

3.3.2.1. Ensayo de Compresión Simple Sobre Núcleos de Concreto

Este ensayo corresponde a la perforación de elementos de concreto (viga, columna, placa, muro) mediante un equipo de extracción de núcleos que está constituido de una broca circular hueca de diámetro 2" o 3" y punta de diamante, que, de acuerdo a la configuración del refuerzo longitudinal y transversal del elemento, permite obtener una muestra del concreto (núcleo extraído) con una relación entre longitud y diámetro h/d cercano a 2.

Se realiza extracción de núcleos en 4 columnas y 4 vigas distribuidas en la edificación. Para la determinación del punto de extracción de cada núcleo, se realizó la detección del refuerzo mediante escáner, con el fin de que este no interfiriese con la extracción, teniendo en cuenta que en ese caso el núcleo se daría por rechazado y se debería reforzar el elemento. Posteriormente, en laboratorio se realiza la disposición de cada muestra en una prensa hidráulica para aplicar carga de forma constante, hasta que se llega a la falla de la muestra. La falla ocurre cuando la muestra deja de soportar carga y es cuando se registra la carga máxima sobre el elemento.

Es importante aclarar que de acuerdo con la norma ASTM C39-17 la interpretación de la resistencia a la compresión se debe tratar con cuidado, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto fabricado de cierta manera; es decir que los

valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, lote, mezclado, colocación, etc. Por lo que, en el laboratorio se realiza la corrección por esbeltez de la muestra de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 3658:2018

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma técnica colombiana NTC 673:2018 – Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- Norma técnica colombiana NTC 3658:2018 – Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.
- ASTM C39/C39M:2014 – Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C42/C42M:2018 – Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

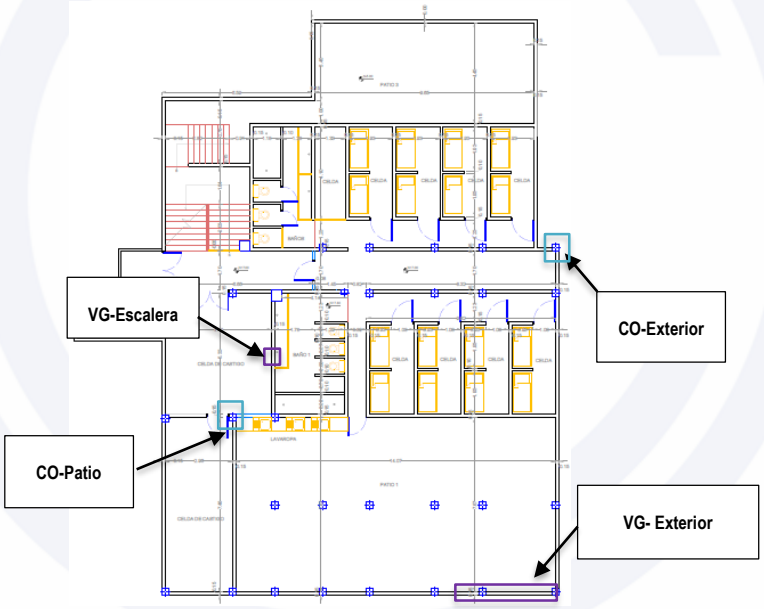


Imagen 35. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto piso 1. Fuente: Elaboración propia

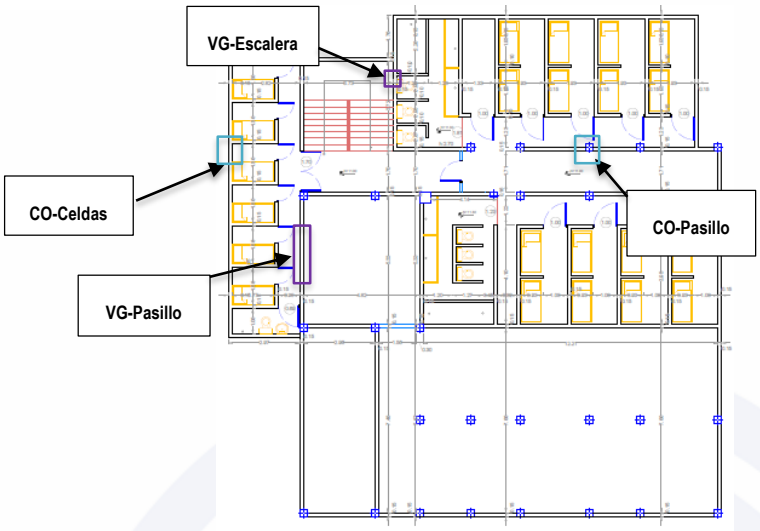


Imagen 36. Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto piso 2. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 8 ensayos a la compresión en las muestras de concreto extraídas.

Tabla 38 Localización ensayos de extracción de núcleos de concreto. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Viga	NV-03	1
Columna	NC-02	1
Viga	NV3	1
Viga	NV-02	1
Columna	NC-04	1
Viga	NV-01	2
Columna	NC-03	2
Columna	NC-01	2







Imagen 37. Ensayo extracción de núcleos de concreto. Fuente: Elaboración propia

Resultados resistencia a la compresión cilindros de concreto

A continuación, se muestran los resultados del ensayo a compresión llevados a cabo en las muestras sacadas en situ.

Tabla 39 Resultados resistencia a la compresión en cilindros de concreto. Fuente: Elaboración propia

ID	Esfuerzo Máximo f'c (MPa)
NV-03	13.2
NC-02	21.1
NV3	18.8
NV-02	13.1
NC-04	19.9
NV-01	17.8
NC-03	17.7
NC-01	13.5

Con el fin de definir una resistencia promedio para el concreto que compone las estructuras y otro para los elementos que sirven de reforzamiento para la zona 3 -4 y al mismo tiempo eliminar algún dato atípico que no pueda ser representativo se aplica el criterio de "Chauvenet" obteniendo un promedio de 16.89 MPa.

El Reglamento De Construcción Sismo Resistente NSR-10 en su numeral **C.1.1.1** establece que la resistencia mínima para elementos estructurales permitida es de f'c=17 MPa, y para elementos pertenecientes al sistema de resistencia sísmica **C.21.1.4.2** un valor mínimo permitido de f'c=21 MPa.

Tomando en cuenta que los elementos estructurales constituyen el único sistema responsable de soportar las fuerzas sísmicas, se estipula que su resistencia mínima, según las normativas, debería ser de f'c=21MPa. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que la resistencia actual alcanza solo el 80% de esa resistencia mínima. Por consiguiente, se concluye que la estructura se encuentra considerablemente por debajo de los estándares normativos actuales, lo que representa un riesgo significativo para su estabilidad y durabilidad en caso de un sismo de magnitud leve.

3.3.2.2. Ensayo de Profundidad del Frente de Carbonatación

Se realizaron pruebas de frente de carbonatación en los núcleos que se extrajeron, aplicando el titulador de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, y por medio de observación directa, se determinó el cambio del pH del concreto. La medida de la profundidad de la capa carbonatada en los concretos se basa en la determinación de la reducción de la alcalinidad que supone la carbonatación, la cual se manifiesta mediante un indicador de pH, que la hace visible por cambios de coloración. De este modo, la fenolftaleína toma color rojo-púrpura para valores de pH superiores a 9,5 (concreto no carbonatado) y permanece incolora para valores inferiores a 8 (concreto carbonatado). Para valores de pH entre 8 y 9,5, toma tonalidades entre rosa y malva (tomado de la norma española UNE-EN 112011:2011).









Imagen 38. Ensayo profundidad frente de carbonatación. Fuente: Elaboración propia

El objetivo del ensayo fue medir la profundidad de la capa carbonatada situada cerca de la superficie del concreto endurecido en un momento determinado. La principal indicación que se obtuvo con este ensayo fue determinar si la carbonatación alcanzó o no hasta el acero de refuerzo, lo que permite establecer si ha podido provocar o contribuir al desarrollo de la corrosión, cuando esta se hubiere producido.

Normativa aplicable al ensayo:

- Norma Española UNE 112011:2011 – Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones en concreto y puestos en servicio.
- Norma Española UNE-EN 14630:2007 – Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. Esta norma es la versión oficial, en español de la Norma Europea EN 14630:2006.
- No existen procedimientos especificados en referencia a este ensayo entre las Normas Técnicas Colombianas.

Resultados ensayo frente de carbonatación concreto.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de frente de carbonatación llevado a cabo en situ.

Tabla 40 Resultados frente de carbonatación en concreto. Fuente: Elaboración propia

ID	Nivel	Profundidad de Carbonatación (mm)
NC-1	Piso 1	35
NC-2	Piso 1	10
NC-3	Piso 2	0

NV-1	Piso 2	20
NV-2	Piso 1	0
NV-3	Piso 2	20
NC-4	Piso 1	0
NV-4	Piso 1	10

Los resultados obtenidos sugieren que algunos puntos de la estructura de concreto exhiben una profundidad de carbonatación que alcanzaría la ubicación del acero de refuerzo. Es importante destacar que este fenómeno no solo reduce la vida útil de la estructura o elemento, sino que también compromete la protección de las armaduras, lo que conduce a una corrosión progresiva del acero de refuerzo y, por ende, debilita la integridad estructural, como ya ha sucedido en otras zonas de la edificación donde el acero está expuesto.

Adicionalmente, la carbonatación del concreto tiene repercusiones estéticas, manifestándose en decoloración y manchas en la superficie del material. Este aspecto estético se ha observado en varias de las patologías identificadas durante el análisis. Por lo tanto, es crucial abordar estas cuestiones de manera inmediata para mantener la seguridad, durabilidad y apariencia visual de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.

3.3.2.3. Regatas de Inspección Directa del Acero de Refuerzo

La realización de regatas para inspección directa del acero de refuerzo corresponde a la perforación de dimensiones y profundidad variable (dependiendo del recubrimiento que posee el elemento), tal que se pueda realizar la verificación de las varillas de refuerzo longitudinal y transversal de los miembros inspeccionados.

En los trabajos de campo se hizo la verificación de algunos elementos estructurales, con lo que se logró identificar la separación y distribución de los refuerzos, la cantidad y diámetro de las varillas de refuerzo

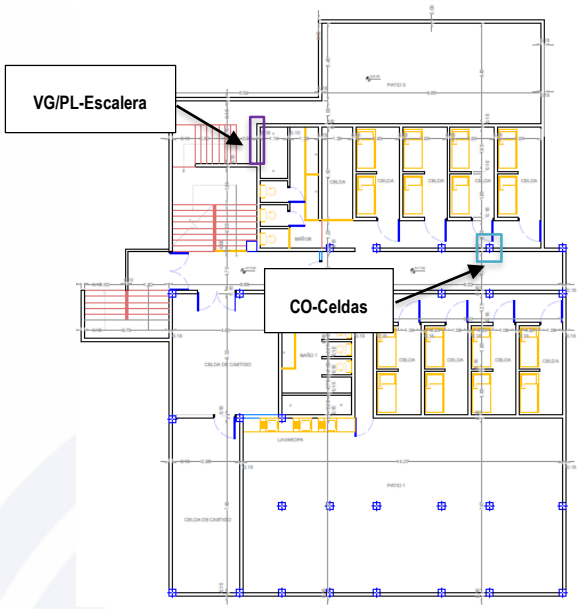


Imagen 39. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo Piso 1. Fuente: Elaboración propia

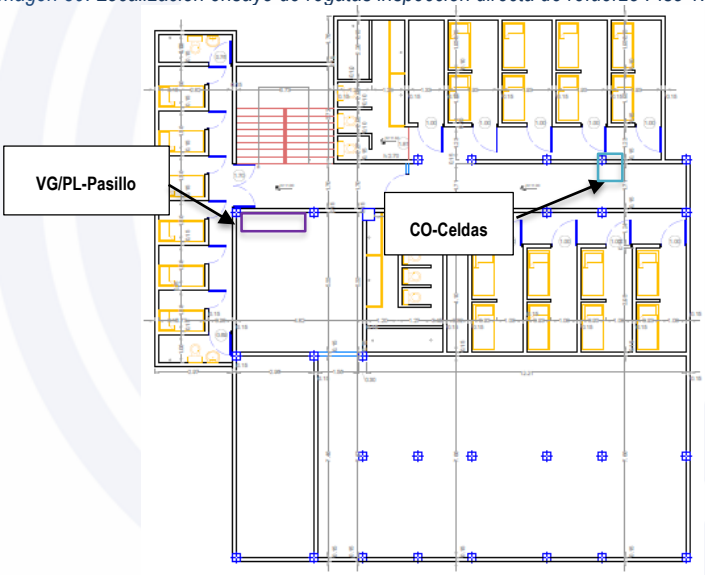


Imagen 40. Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo Piso 2. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 6 regatas en columnas y vigas para identificar el refuerzo de estos elementos.

Tabla 41 Localización ensayo de regatas inspección directa de refuerzo. Fuente: Elaboración propia

Elemento	Ejes de ubicación	Nivel
Columna	RC-3	2
Columna	RC-2	1
Columna	RC-1	1
Viga	RV-1	2

Viga	RV-3	2
Viga	RV-2	1



Imagen 41. Ensayo regatas para inspección directa de refuerzo. Fuente. Propia

Resultados inspección directa de refuerzo

De acuerdo a la inspección directa del refuerzo en los elementos se tiene el siguiente refuerzo:

ID	# Barras Longitudinales encontradas	Diámetro Barra Longitudinal	Diámetro Estribo	Separación de Estribos	Tipo de acero de refuerzo
RC-3	3	#6	#3	0.20	Corrugado
RC-2	2	#6	#3	0.14	Corrugado
RC-1	3	#6	#3	0.20	Corrugado
RV-1	2	#5	#3	0.20	Corrugado
RV-3	2	#5 y #6	#3	0.15	Corrugado
RC-3	2	#5	#3	0.21	Corrugado

Tabla 42 Refuerzo elementos según regatas

Adicionalmente en las viguetas con acero expuesto se encontró refuerzo longitudinal 1#4 y estribos #3 cada 0.20 cm en acero corrugado.

3.3.3. CONCLUSIONES

- La estructura exhibe fisuras clasificadas como "Daño Leve" en los muros divisorios, causadas por el deterioro del mortero de pañete y la deformación de los elementos estructurales. Además, se observan grietas en la fachada norte de la etapa 2 entre el muro y la columna de la etapa 1 debido a posibles asentamientos y la ausencia de elemento de confinamiento en la mampostería incumpliendo así los requisitos establecidos en el reglamento de construcción sismo resistente NSR-10.
- Las estructuras exhiben una presencia constante de humedad en amplias áreas de placas, muros y elementos estructurales. Esta humedad es el resultado de filtraciones desde la cubierta, la fachada y las tuberías, lo que ha provocado el deterioro de los elementos y la aparición de hongos. Este problema no solo afecta la estética y la apariencia del material, sino que también acelera el desgaste de los elementos, reduciendo su vida útil.
- Se encuentran viguetas y vigas con pérdida de material producto de un proceso de, lo cual compromete no solo su comportamiento mecánico y durabilidad si no también favorece el permanente avance de la corrosión presente en el acero de refuerzo de los elementos, comprometiendo la estabilidad y durabilidad de la estructura.
- Las estructuras exhiben un grado avanzado de corrosión en el acero de refuerzo en varios elementos, como columnas, vigas y placas. Esta evaluación se basa en inspecciones visuales complementadas con resultados de ensayos de carbonatación y potencial de corrosión. Esta condición afecta ampliamente a la estructura, comprometiendo el comportamiento adecuado de los elementos estructurales y causando un debilitamiento sistemático. Esto representa un riesgo para la estabilidad y durabilidad de la estructura, especialmente frente a eventos sísmicos moderados, lo que podría resultar en fallos estructurales en las áreas más afectadas por esta patología.
- Teniendo en cuenta que los elementos estructurales constituyen el único sistema responsable de soportar las fuerzas sísmicas, se estipula que su resistencia mínima, según las normativas, debería ser de f'c=21MPa. Sin embargo, los resultados del ensayo a compresión de cilindros de concreto obtenidos muestran que la resistencia promedio actual solo llega al 80% de esa resistencia mínima. Por consiguiente, se concluye que la estructura se encuentra considerablemente por debajo de los estándares normativos actuales, lo que representa un riesgo significativo para su estabilidad y durabilidad en caso de un sismo de magnitud moderada.
- Los resultados muestran que el concreto utilizado para la construcción de las dos exhibe homogeneidad en sus propiedades. Estos hallazgos sugieren una uniformidad en la calidad del concreto empleado en diferentes áreas del proyecto.

- Como resultado de la inspección directa del refuerzo se encuentra que la estructura cuenta con acero de refuerzo tipo corrugado, lo cual es concordante con la estructura teniendo en cuenta su época de construcción. Además, la distribución de estribos indica que se consideraron zonas de confinamiento. Se deberá ahondar en el análisis estructural para verificar que se estén garantizando los requisitos mínimos de separación de refuerzo según NSR-10 para este tipo de edificación.
- En resumen, los hallazgos indican que la carbonatación del concreto es un problema que en algunos puntos ya está avanzado, con una profundidad de carbonatación significativa que alcanza la ubicación del acero de refuerzo. Este proceso no solo acorta la vida útil de las estructuras y compromete la integridad de las armaduras al propiciar el inicio de un proceso de corrosión del acero, sino que también genera problemas estéticos visibles, como decoloración y manchas en la superficie del concreto. Por lo tanto, es imperativo abordar estos problemas de manera urgente para preservar la seguridad, durabilidad y apariencia estética de las estructuras de concreto a lo largo del tiempo.
- En los muros de cerramiento se encuentran inclinaciones que van desde el 0.15% al 1.08% aproximadamente. Para contrarrestar este inclinamiento y prevenir un posible volcamiento debido a fuerzas laterales dinámicas, es crucial implementar medidas de confinamiento en estos muros. Este confinamiento puede lograrse mediante la instalación de elementos verticales adicionales u otras estrategias diseñadas para reducir la excentricidad vertical. Estas acciones garantizarán una mayor estabilidad estructural y seguridad ante cargas externas, protegiendo así la integridad de la construcción y la seguridad de sus ocupantes.
- Aunque este estudio no aborda el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, ya que esto será objeto de un estudio de vulnerabilidad posterior, es crucial implementar las medidas de rehabilitación necesarias para asegurar la durabilidad y estabilidad de la estructura. Esto implica seguir las alternativas de intervención descritas en este informe para prevenir el continuo desgaste y debilitamiento provocado por las patologías mencionadas.

4. BIBLIOGRAFÍA

- CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS COLOMBIA. Grupo de Climatología y Agrometeorología. Subdirección de Meteorología. IDEAM. 2011. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/climas+%5BModo+de+compatibilidad%5D.pdf/d8c85704-a07a-4290-ba65-f2042ce99ff9
- CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS. IDEAM. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd
    - [1]: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (s.f.). Clasificación de zonas climáticas.